95 к.

СПРАВОЧНИК П. С. Лившиц

П. С. Лившиц

СПРАВОЧНИК

по щеткам электрических машин

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

П. С. ЛИВШИЦ

СПРАВОЧНИК по щеткам электрических машин

Москва
Энергоатомиздат 1983

ББК 31.261
Л55
УДК 621.3.047.4(03)

Рецензент: Г. Н. Фридман

Лившиц П. С.

Л55 Справочник по щеткам электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1983 — 216 с., ил.
В пер. 95 к.

Обобщены результаты работ по созданию щеток электрических машин и данные по обеспечению надежной эксплуатации электрооборудования различных промышленных предприятий, транспортных средств и т. п. Содержащаяся в справочнике информация позволяет решать вопросы, возникающие при обслуживании электрических машин, в том числе вопрос замены щеток на импортном оборудовании.
Для инженерно-технического персонала, занятого испытанием, наладкой, эксплуатацией и ремонтом коллекторных электрических машин и машин с контактными кольцами.

Л $\frac{2302030000\text{-}367}{051(01)\text{-}83}$ 130-83

ББК 31.261
6П2.1.081

ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди многочисленных и разнообразных работ, выполняемых персоналом служб главных энергетиков промышленных предприятий наиболее сложными и трудоемкими являются работы по обеспечению нормальной эксплуатации скользящих контактов коллекторных электрических машин и машин с контактными кольцами. Содержание и объем подобных работ определились многолетней практикой обслуживания указанного оборудования. Современный этап развития народного хозяйства страны ставит перед электротехническим персоналом, эксплуатирующим электрические машины, новые задачи. Первая из них определяется особенностями развития производительных сил страны, и в первую очередь тем, что прирост объема выпуска промышленной продукции осуществляется, главным образом, за счет роста производительности труда. Среди факторов, оказывающих влияние на рост производительности труда, существенная роль принадлежит электровооруженности. Естественно, что осуществляемое в нашей стране динамичное возрастание экономических показателей неизбежно связано с интенсификацией режимов работы используемых силовых агрегатов, главнейшими из которых являются электрические машины. Следовательно, персонал, обслуживающий электрические машины со скользящими контактами, должен обеспечивать удовлетворительную работу щеток при возрастании нагрузок на них.

Кроме того, в последние годы возникла новая задача, связанная с развитием внешнеторговых связей. Так, за период с 1971 по 1981 год стоимость ежегодно импортированных в СССР товаров возросла с 11,2 до 52,6 млрд. руб. В общем объеме импортированных в 1981 г. товаров 30% составляют машины, оборудование и транспортные средства, в состав которых входят электрические машины, снабженные щетками [0.4]. Эти щетки изготовлены предприятиями различных стран и после отработки своего ресурса подлежат замене. Выполняя подобную замену, необходимо ориентироваться на использование щеток, изготавливаемых отечественными предприятиями, которые должны предлагать своим потребителям ассортимент щеточной продукции, способный заменить продукцию большого числа зарубежных поставщиков. Цель справочника — сообщить потребителям ассортимент щеток, изготавливаемых отечественными предприятиями, и информацию о том, как из

этого ассортимента следует выбирать щетки, способные заменить зарубежные.

Очевидно, что решение различных задач, стоящих перед персоналом служб главных энергетиков, и практическая деятельность этих служб по обеспечению высокопроизводительной работы силовых агрегатов будут тем более успешными, чем более полно в них будут использованы достижения соответствующих областей науки. Эти соображения и легли в основу предлагаемого вниманию читателей настоящего справочника. В нем обобщены работы по созданию отечественной промышленностью щеток электрических машин, многолетняя практика их эксплуатации в различных отраслях народного хозяйства и 35-летний опыт автора в этой области. Автор выражает надежду, что инженерно-технический персонал, которому адресуется настоящий справочник, найдет в нем немало полезных для себя сведений, использование которых будет способствовать повышению надежности работы электрооборудования.

В заключение автор считает своим приятным долгом отметить, что в многолетнем систематическом изучении эксплуатационных свойств щеток помимо его ближайших сотрудников В. Е. Кубарева, И. И. Бодрова, Н. М. Брагина, И. Ф. Ковалева и других принимал участие эксплуатационный персонал многочисленных промышленных предприятий, где проводились наблюдения за работой щеток электрических машин. Всем, кто сотрудничал в этом исследовании, автор выражает свою признательность.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Потребность в щетках и изменение предъявляемых к ним требований всегда находились в зависимости от развития электрических машин, для которых они предназначены. Указанное положение иллюстрируется всей историей развития электрических машин. Оно подтверждается также практикой развития электропривода и в нашей стране. До начала периода индустриализации народного хозяйства СССР развитие электрического привода базировалось на использовании нерегулируемых электрических машин переменного тока, в качестве которых применялись асинхронные двигатели с фазным ротором и реостатным управлением. В годы первой пятилетки по мере роста мощности электростанций в стране происходило расширение областей применения приводов с использованием короткозамкнутых асинхронных двигателей. Электропривод постоянного тока в те времена применялся крайне редко. Он управлялся реостатами при помощи ручных контроллеров вначале барабанного, а затем кулачкового типа. Первая Всесоюзная конференция по электропроводу (Харьков 1930 г.) ориентировала дальнейшее развитие электроприводов на использование релейно-контакторных систем управления. Эти системы в 30 — 40-х годах находили применение как на продолжавших широко распространяться нерегулируемых электроприводах переменного тока, так и на начавших получать применение электроприводах постоянного тока. Именно в этот период в промышленности началось внедрение электроприводов постоянного тока по системе Г — Д с релейно-контакторным управлением в цепи возбуждения генераторов. В годы Великой Отечественной войны происходила разработка электромашинных систем автоматического управления, и Вторая Всесоюзная конференция по электроприводу (Ленинград, 1947 г.) приняла решение об ориентации промышленности на использование этих систем. С конца сороковых и в течение пятидесятых годов в народном хозяйстве страны происходит увеличение удельного веса применяемых регулируемых электроприводов постоянного тока системы Г — Д с заменой в них релейно-контакторного управления электромашинным. Процесс распространения электроприводов названной системы продолжался до первой половины 60-х годов, когда им на смену пришли статические преобразователи переменного тока в постоянный: сначала ионные, а затем — полупроводниковые. Современный этап развития рассматриваемой техники характеризуется дальнейшим повышением удельного веса регулируемых электроприводов. Подобное обстоятельство обусловлено тем, что использование регулируемых электроприводов позволяет осуществлять оптимизацию технологических процессов различных промышленных производств, уменьшать динамические перегрузки звеньев кинематической цепи машин и механизмов, повышать их производительность, надежность, долговечность и положительно решать многие другие вопросы совершенствования оборудования. Таким образом, распространение регулируемых электроприводов являет-

ся технически и экономически оправданным. Если ранее, при существовавшей тогда технике регулирования, темпы распространения регулируемых электроприводов отставали от роста потребности в них, то в настоящее время, с появлением тиристорных систем, эти темпы значительно возрастают. Тиристорные системы внедряются в силовые цепи электрических машин постоянного и переменного тока. По опубликованному прогнозу [0.2] перспективный рост потребности в двигателях постоянного тока характеризуется следующими цифрами:

	1975 г.	1985 г.	1990 г.
Двигатели мощностью до 30 кВт, %	100	350	550
Двигатели мощностью 30—200 кВт, %	100	100	190

В соответствии с изложенным будет происходить и дальнейшее увеличение потребности в щетках. Одновременно с ростом необходимого для народного хозяйства количества этого вида электроугольных изделий будут возрастать и требования к их эксплуатационным свойствам. Очевидно, что перечисленные обстоятельства требуют от работников щеточных предприятий новых усилий по развитию своего производства. Если на нынешнем этапе его развития выпускаемый ассортимент продукции практически удовлетворяет потребность всех нуждающихся в щетках отраслей промышленности, то в ближайшей перспективе предстоит решение новых задач. Наряду с созданием щеток для принципиально новых условий эксплуатации, предстоит огромная работа по совершенствованию технологических процессов щеточного производства. Первостепенную роль в решении последней задачи играет создание новых видов технологического оборудования, обеспечивающего переработку сырьевых материалов в новых режимах. Разработанные и осуществляемые проекты проведения технологических процессов предусматривают использование автоматизированных комплексов, функционирующих под контролем ЭВМ. На предприятиях, изготовляющих щетки, вводятся в эксплуатацию высокопроизводительные прессы-автоматы, печи непрерывной термообработки, агрегатные станки, автоматические линии механообработки, промышленные манипуляторы и ряд других образцов современной техники, призванных обеспечить бурно развивающееся народное хозяйство страны щеточной продукцией высокого качества и в необходимом количестве.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ЩЕТОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1. Основы технологии щеточного производства

1.1.1 Производственный процесс изготовления щеток электрических машин разделяется на две принципиально различные части. Первую из них составляют технологические операции, связанные с подготовкой сырья, его переработкой и превращением в щеточный материал (полуфабрикат), из которого в последующем, во второй части процесса, после соответствующей механической обработки, изготавливаются готовые изделия — щетки. Первая часть рассматриваемого процесса составляет основу производства, так как именно на этом этапе формируются все свойства щеточных материалов.

1.1.2. С физической точки зрения щеточные материалы представляют собою многокомпонентные порошковые системы, изготавливаемые методами керамического производства и порошковой металлургии. Сырье, используемое при изготовлении этих материалов, разделяется на две группы: наполнители и связующие. К наполнителям относятся:

а) порошки углеродные, т. е. графит, пековый и нефтяной коксы, технический углерод (сажа);

б) порошки металлические: медный, свинцовый, оловянный.

Связующие вещества — это каменноугольная смола и пек, бакелитовый лак, пульвербакелит (фенольное порошкообразное связующее), каменноугольное масло (является растворителем пека).

1.1.3. Наполнители входят в состав щеточных материалов всех марок (образуя их основную массу и оказывая влияние на формирование механической прочности, плотности, электропроводности, антифрикционных и всех других свойств, обеспечивающих рассматриваемым материалам широкое распространение в электротехнике.

1.1.4. Углеродные порошки входят в состав щеточных материалов угольно-графитного, графитного и электрографитированного классов, объединенных общим названием «черные» щеточные материалы.

1.1.5. Металлические порошки входят в состав щеточных материалов металлографитного класса, иногда называемых «цветными» щеточными материалами. Как правило, в состав материалов данного класса кроме металлических порошков входят углеродистые порошки. Выбор порошков и их соотношение в составе изготавливаемого щеточного материала определяют его марку.

1.1.6. Связующие вещества входят в состав щеточных материалов подавляющего числа марок. Их роль в составе материалов является двоякой. Прежде всего, они связывают перерабатываемые порошки, в результате чего получается масса, пригодная для формирования. В последующем, при термообработке, связующие вещества, обволакивающие зерна наполнителей, превращаются в кокс, образуя так называемую коксовую решетку (каркас). Благодаря последней между частицами наполнителей устанавливаются прочные физико-химические связи и бывшая ранее пластичная масса превращается в твердое тело.

1.1.7. Кокс пековый представляет собой пористую массу серо-стального цвета, обладающую значительной пористостью и прочностью. Его получают путем коксования каменноугольного пека с температурой размягчения 145 — 150 °С. Для щеточных материалов, подвергаемых процессу электрографитации, применяют прокаленный пековый кокс марок КПЭ-1 и КПЭ-2, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 5.2158-74.

1.1.8. Кокс нефтяной является продуктом коксования тяжелых остатков переработки нефти или нефтепродуктов. Он представляет собою твердую пористую массу, большей частью блестящего черного цвета. Нефтяной кокс марки КНКЭ входит в состав электрографитируемых щеточных материалов. Его свойства нормированы ГОСТ 22898-78.

1.1.9. Графит входит в состав щеточных материалов всех марок, кроме сажекоксовых. Его получают путем переработки на соответствующих обогатительных фабриках графитовой руды, добываемой на Тайгинском, Ногинском и Завальевском месторождениях. Требования, которым должны удовлетворять используемые при изготовлении щеточных материалов графиты марок ЭУТ, ЭУН и ЭУЗ, изложены в ГОСТ 10274-79.

1.1.10. Технический углерод (сажа) является продуктом термического разложения газообразных или жидких углеводородов при высоких температурах и неполном доступе воздуха. Свойства технического углерода зависят от качества исходного сырья, соотношения количества этого сырья и количества поступающего в печь воздуха, а также от направления движения воздуха в печи. Технический углерод является наиболее чистым в химическом отношении и наиболее диспергированным видом сырья из числа используемых в производстве графитированных щеточных материалов. Свойства технического углерода, предназначенного для этого производства, нормированы ГОСТ 7885-77 и ТУ 38-11543-75.

1.1.11. Медный порошок, используемый при изготовлении щеточных материалов, получают электролитическим осаждением из сернокислого раствора сульфата меди. Медный порошок склонен к окислению, и, чтобы предохранить его от этого, поверхность его частиц покрывают стабилизирующей пленкой. Порошку со стабилизирующей пленкой присвоены марки ПМС-1 и ПМС-2; при отсутствии подобной пленки порошку присваивается марка ПМ или ПМА. Содержание меди в порошке доходит до 99,5%; его насыпная плотность лежит в пределах 1200 — 2200 кг/м^3. Медный порошок входит в состав всех щеточных материалов металлографитного класса. Его свойства нормированы ГОСТ 4960-75.

1.1.12. Свинцовый порошок получают путем распыления расплавленного металла, при этом форма образующихся частиц приближается к сферической. Содержание свинца в порошке согласно ГОСТ 16138-78 достигает 99,65%, его насыпная плотность колеблется в пределах $(5—6)\cdot10^3$ кг/м^3. Используется свинцовый порошок в качестве легирующей добавки в некоторых щеточных материалах металлографитного класса.

1.1.13. Оловянный порошок получают также путем распыления расплавленного металла. Частицы порошка имеют сферическую или близкую к ней форму, и для предотвращения изменения свойств его следует хранить при температуре не ниже +4 °С. Качество оловянного порошка марки ПО, применяемого в производстве щеточных материалов, нормируется ГОСТ 9723-73. Содержание основного металла в этом порошке достигает 99,5%, а насыпная плотность $(3 — 4)\cdot10^3$ кг/м^3. Используется этот порошок в качестве легирующей добавки в некоторых щеточных материалах металлографитного класса.

1.1.14. Смола каменноугольная представляет собой вязкую жидкость черного цвета с характерным запахом. Получается она при коксовании каменного угля без доступа воздуха. По своему составу каменноугольная смола является сложной смесью различных соединений, состоящих из пяти элементов: углерода 91,2%, водорода 5,4%, кислорода 1,3%, азота 1,8% и серы 3,3%. Важнейшими параметрами каменноугольной смолы, имеющими значение для технологии производства щеточных материалов, являются выход кокса, плотность, вязкость и содержание веществ, нерастворимых в хинолине. Свойства каменноугольной смолы должны соответствовать требованиям ТУ 14-6-83-72.

1.1.15. Пек каменноугольный является остатком перегонки каменноугольной смолы. Он представляет собою твердую хрупкую массу с изломом блестящего черного цвета, испещренным раковинами. Переход пека из твердого состояния в жидкое, в котором он должен находиться для выполнения функций связующего, для различных сортов пека происходит в диапазоне определенных температур. В щеточном производстве используется среднетемпературный пек с температурой размягчения 65—75° С (ГОСТ 10200-73) и высокотемпературный пек, размягчение которого происходит при 120—150° С (ТУ/14-6-84-72). Наиболее важными параметрами каменноугольного пека являются выход кокса, температура размягчения, плотность и содержание веществ, нерастворимых в хинолине. Значения перечисленных характеристик последовательно возрастают по мере перехода от средне- к высокотемпературным пекам.

В такой же последовательности происходило использование различных каменноугольных пеков в производстве щеточных материалов. Новые марки этих материалов изготавливаются на высокотемпературном пеке, вводимом в состав шихты в порошкообразном состоянии.

1.1.16. Бакелитовый лак представляет собой 50—60%-ный раствор резольной фенолформальдегидной смолы в этиловом спирте. Его применяют в качестве связующего при изготовлении щеточных материалов, обладающих весьма высокими значениями удельного электрического сопротивления. Свойства используемого в щеточном производстве бакелитового лака должны соответствовать ГОСТ 901-78.

1.1.17. Пульвербакелит (фенольное порошкообразное связующее) подобно бакелитовому лаку используется в составе щеточных материалов с весьма высоким удельным электрическим сопротивлением. Это связующее является смесью новолачной фенолформальдегидной смолы с уротропином. Пульвербакелит поступает на электроугольные предприятия в виде порошка с размерами частиц 0,1 мм, его свойства определяются ОСТ 6-05-441-78.

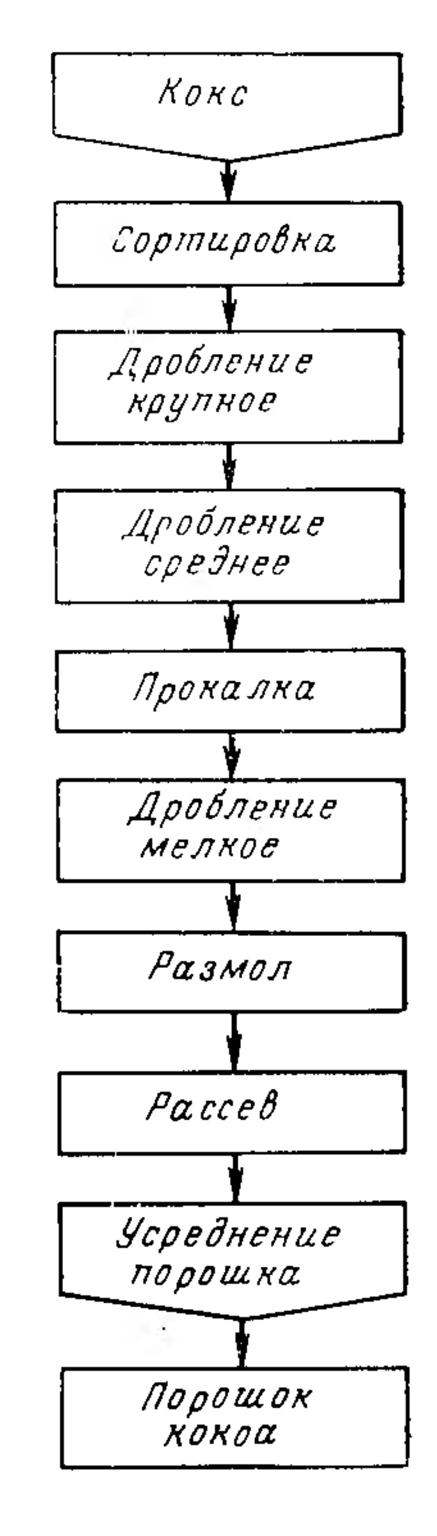


Рис. 1.1. Принципиальная схема приготовления порошка кокса

1.1.18. Каменноугольное масло является продуктом переработки фракций, получаемых при разгонке каменноугольной смолы. Оно представляет собою смесь фильтрованного антраценового

и легких каменноугольных масел. Каменноугольное масло применяют как растворитель с целью снижения вязкости и температуры размягчения каменноугольного пека. Качественные параметры каменноугольного масла должны соответствовать ГОСТ 2770-74.

1.1.19. Технологический процесс изготовления щеточных материалов начинается с подготовки сырья. Схема подобной подготовки применительно к коксу показана на рис. 1.1. В результате переработки по указанной схеме получают порошок кокса.

1.1.20. Схема подготовки связующих представлена на рис. 1.2. Подготовка каменноугольной смолы производится путем постепенного нагрева до 270 °С, в процессе которого из нее удаляется влага, отгоняются летучие вещества, легкие масла, часть средних масел и нафталин. В некоторых случаях каменноугольная смола нагревается до

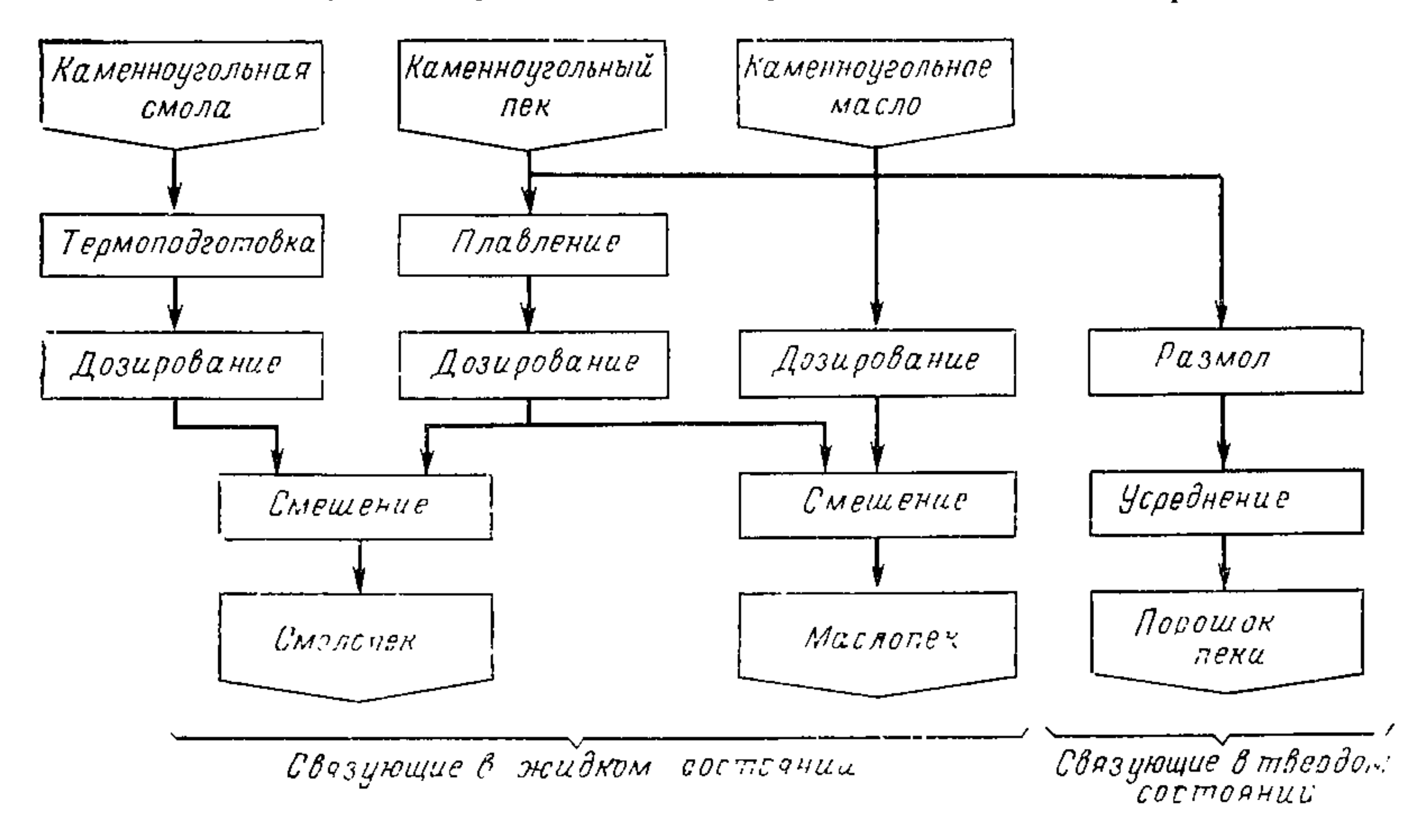


Рис. 1.2. Принципиальная схема подготовки связующих и приготовления смолопеков и маслопеков

360° С, в результате чего из нее отгоняются средние и частично тяжелые фракции. Подготовленная указанным способом смола, смешанная в заданном соотношении с расплавленным пеком, образует связующее — смолопек. Другим видом готового связующего является смесь расплавленного пека с каменноугольным маслом — маслопек.

1.1.21. Приготовленные описанным образом порошки и связующие подвергаются дальнейшей переработке по схемам, показанным на рис. 1.3. Первой операцией этих схем является дозирование компонентов. Дозирование производится в соответствии с составом изготавливаемой марки щеточного материала. Дозированные компоненты попадают в смесители. Здесь связующее распределяется по всему объему смеси и смачивает зерна сухих наполнителей, в результате чего приготавливаемая масса приобретает способность формоваться. Кроме того, описываемый процесс оказывает влияние на прочность связывания твердых зерен наполнителей с коксом, в который превратится связующее при последующем обжиге полуфабриката.

Приготовленная в смесителях масса после уплотнения, охлаждения, измельчения, рассева и усреднения превращается в полупродукт, называемый прессовочным порошком, который прессуют в прямоуголь-

ной пресс-форме. Прессовки в зависимости от размеров называют блоками или плитами. Их подвергают термообработке: обжигу при температурах до 1300° С и электрографитации в диапазоне температур 2600—2800° С и получают щеточный полуфабрикат.

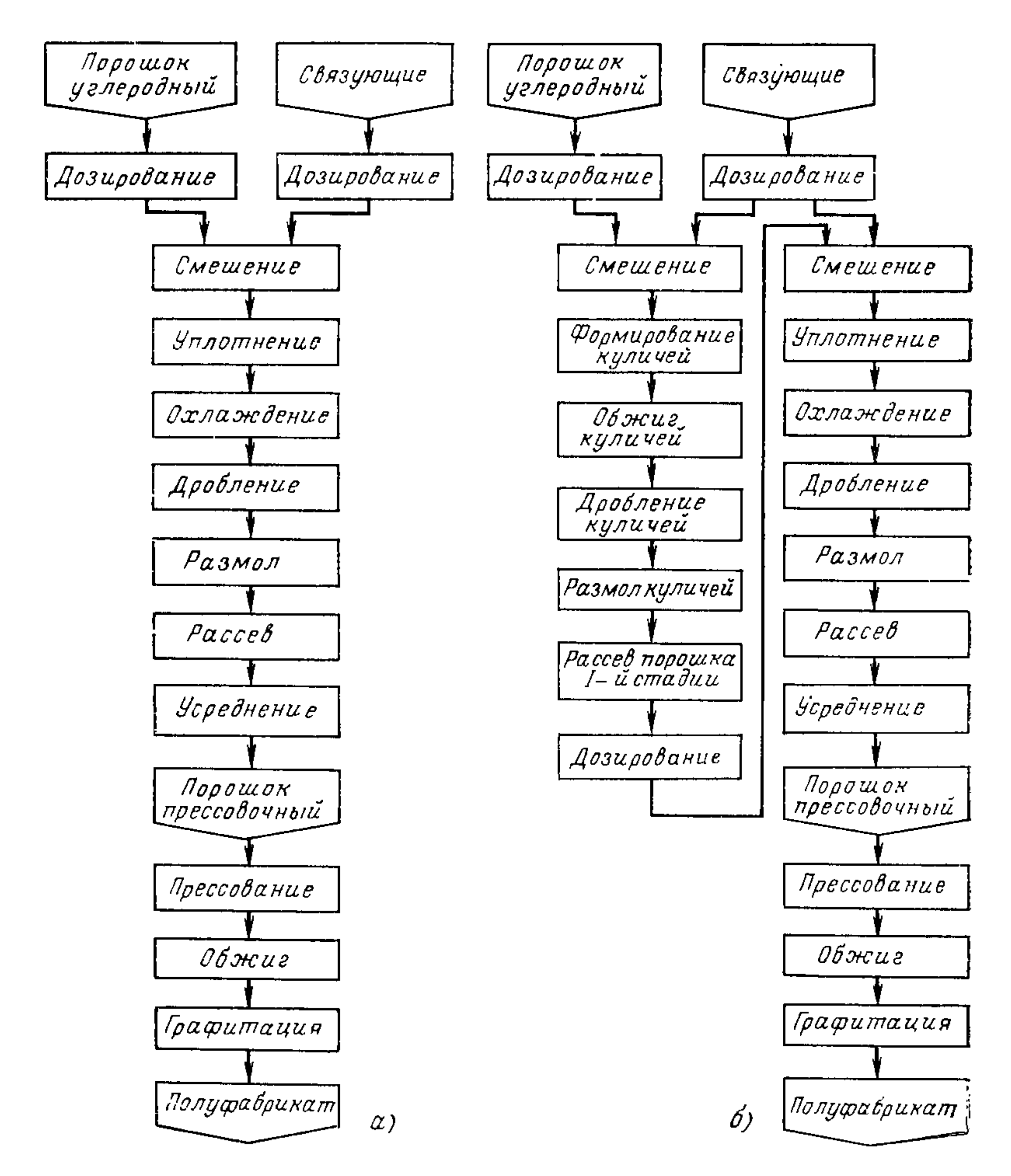


Рис. 1.3. Принципиальные схемы изготовления щеточных полуфабрикатов при одностадийной (*а*) и двустадийной (*б*) переработке

1.1.22. Приведенные на рис. 1.1—1.3 схемы подготовки сырья и переработки его в щеточный полуфабрикат показывают последовательность технологических операций в наиболее общем виде. При использовании высокодисперсных наполнителей (сажи, металлических порошков) весь процесс подготовки ограничивается только рассевом. Существенно упрощается по сравнению с изображенными на рис. 1.3 схемы

производства материалов металлографитного класса. Соответствующим образом изменяется и время, необходимое для осуществления технологического процесса производства материалов различных марок. В некоторых случаях это время ограничивается 5—6 ч (марка МГС), между тем как на изготовление других материалов затрачивается 60 суток (марка ЭГ2А).

1.2. Классификация щеточных материалов

1.2.1. Щеточные материалы различных марок отличаются друг от друга примененным при их изготовлении исходным сырьем, соотношением отдельных видов этого сырья и схемой технологического процесса его переработки в щеточный материал. Предприятия различных стран изготавливают и поставляют на рынки обширную номенклатуру марок щеток, содержащую несколько десятков наименований. Для того чтобы ориентироваться в них, квалифицированно выбирать их для различных случаев применения и с достаточным основанием решать вопросы замены одних марок щеток другими, необходимо знание существующих способов классификации материалов, из которых эти щетки изготавливаются.

1.2.2. Первой классификацией щеточных материалов являлось отнесение их к одному из четырех классов, название каждого из которых было связано либо с видом использованного сырья, либо с особенностями его термической обработки. Создание описываемой классификации щеточных материалов завершилось в 1927 г., когда был запатентован процесс искусственной графитации угольно-графитных композиций. Начиная с указанного времени все изготавливаемые и поступающие к потребителям щетки разделяются на следующие четыре класса:

I — металло-графитный
II — угольно-графитный
III — графитный
IV — электрографитированный

В каждый из перечисленных классов входит значительное количество марок щеточных материалов, и подобная их классификация обладает весьма малой «разрешающей способностью». С помощью описанной классификации задача сопоставления различных щеточных материалов решается с весьма малой степенью точности.

1.2.3. С целью повышения «разрешающей способности» классификации щеточных материалов, описанной в п. 1.2.2., она в последующем подвергалась усовершенствованиям. В настоящее время в практике широко применяется групповая классификация рассматриваемых материалов, подробно изложенная в таблице 1.1.

Принципиальная особенность групповой классификации состоит в том, что щеточные материалы каждого класса дополнительно разделены на группы (подклассы). Появление этого нового элемента классификации позволяет с большей, чем это было ранее, точностью сопоставлять между собой щеточные материалы данного класса. Однако предельной точности при этом все же достичь не удается, поскольку в каждой группе щеточных материалов всегда находится несколько различных марок.

1.2.4. Для дальнейшего повышения точности сопоставления щеточных материалов, изготавливаемых различными поставщиками, может быть использован разработанный в последние годы метод их класси-

Таблица 1.1. **Групповая классификация щеточных материалов**

Номер класса	Класс	Группа (подкласс)	Исходные материалы и процесс изготовления
I	Металлографитный	А. С высоким содержанием меди (>75 %) и с легирующими добавками	Порошки графита, меди, свинца и олова. Смешение без связующих веществ, прессование, спекание при температуре ниже 1000° С
		Б. С повышенным содержанием меди (50—75%) и с легирующими добавками	Порошки графита, меди, свинца и олова. Смешение, прессование, спекание при температуре ниже 1000° С
		В. С высоким содержанием меди (>75%)	Порошки графита и меди. Смешение без связующих веществ, прессование, спекание при температуре ниже 1000° С
		Г. С повышенным содержанием меди (50—75%)	То же
		Д. С пониженным содержанием меди (до 50%)	Порошки графита и меди. Смешение с небольшим количеством связующих веществ, прессование, спекание при температуре 1000° С
		Е. С малым содержанием меди (около 10%)	Графит с небольшой добавкой медного порошка (катализатора). Прессование, спекание при температуре ниже 1000° С
II	Угольно-графитный	А. Средней твердости	Порошки графита и других углеродистых материалов (технический углерод, кокс). Смешение со связующими веществами (пек, смола). прессование, спекание при температуре выше 1000° С
		Б. Повышенной твердости	Порошки углеродистых материалов (технический углерод, пек) с примесью графита Смешение со связующими веществами (смола, пек), прессование, спекание при температуре выше 1000° С
III	Графитный	А. Графитная (обычная)	Порошок графита. Смешение со связующими веществами (смола, пек), прессование при температуре выше 1000° С

Продолжение табл. 1.1.

Номер класса	Класс	Группа (подкласс)	Исходные материалы и процесс изготовления
		Б. Натурально-графитная	Порошок графита. Большей частью прессуется без связующих веществ и без спекания; иногда прибавляется немного связующих веществ (смола, бакелит) и материал спекает при температуре 200—500° С
		В. Высокоомная	Порошок графита. Смешение со связующими веществами (обычно бакелит), прессование, спекание при температуре около 200° С
		Г. Абразивная	Порошок графита с примесью абразивного вещества (иногда также с примесью различных углеродистых материалов). Смешение со связующими веществами (смола, бакелит) а в иных случаях без связующих веществ (аналогично материалам IIIБ, прессование спекание при температурах от 200 до 1000° С и выше
IV	Электрографитированный	А. Мягкая	То же, что графитные щетки (IIIА), но подвергаются процессу электрографитации, т. е. термической обработке при 2500—2800°С
		Б. Средней твердости	То же, что угольно-графитные щетки (IIА и IIБ), но подвергаются процессу электрографитации
		В. Твердая	То же, что твердые угольно-графитные щетки (IIБ), но подвергаются процессу электрографитации

фикации и изучения с помощью композиционных треугольников. Подобные треугольники широко применяются в металловедении и физической химии для изучения трехкомпонентных систем. Возможность их применения при изучении щеточных материалов обусловлена особенностями их композиционных систем. Смесь исходного сырья для щеточных материалов представляет собой многокомпонентную композицию из сухих и жидких компонентов. В процессе последующей термообработки эти компоненты претерпевают определенные физико-химические изменения, в частности связующие вещества отверждаются, превращаясь в кокс. После термообработки в черных щеточных материалах

количество этих компонентов не превышает трех и все они могут рассматриваться в качестве членов композиционной системы графит — сажа — кокс. Многообразные исходные составы цветных марок щеточных материалов после соответствующей термообработки могут рассматриваться как композиционные системы медь — легирующие добавки — углеродистые материалы. Для графического отображения трехкомпонентных систем используется равносторонний треугольник, на каждой стороне которого нанесена шкала, проградуированная в процентах. Если из любой точки, взятой на плоскости треугольника, провести прямые, параллельные его сторонам, то они отсекут на трех шкалах отрезки, сумма которых окажется равной 100%. Поскольку сумма всех трех компонентов состава любой марки щеточного материала также всегда равна 100%, то каждой конкретной марке этого материала будет соответствовать только одна, вполне определенная, точка на плоскости композиционного треугольника.

Примеры использования композиционного треугольника представлены на рис. 1.4. Показанная на его плоскости точка *M* определяет в трехкомпонентной системе композицию, состоящую из 20% компонента A, 30% компонента B и 50% компонента C. В частном случае, когда содержание одного из трех компонентов системы снижается до нуля, отображающая точка располагается на одной из сторон композиционного треугольника. Так, точка L на рис. 1.4 описывает композицию, состоящую из 65% компонента A, 0% компонента B и 35% компонента C.

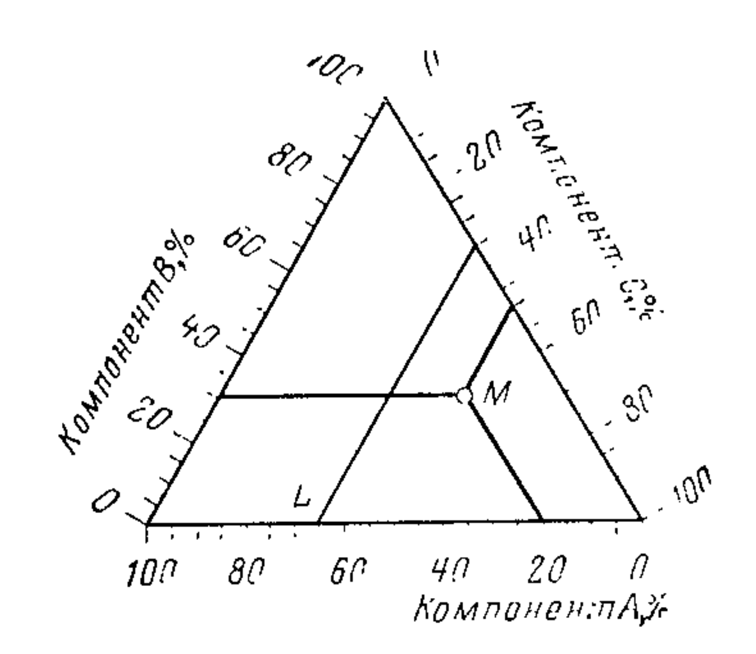


Рис. 1.4. Композиционный треугольник трехкомпонентной системы

1.2.5. Композиционные треугольники для системы медь—легирующие добавки—углеродистые материалы, в которую входят щеточные материалы металло-графитного класса, изготавливаемые некоторыми зарубежными предприятиями, показаны на рис. 1.5. При наличии подобных построений определение марок-аналогов щеточных материалов, изготавливаемых различными предприятиями, является несложной задачей. Для ее решения оказывается достаточным найти марки с одинаковыми координатами на плоскости композиционных треугольников. Так, наложив друг на друга треугольники *а* и *б* (рис. 1.5 *в*), находим, что среди изображенных на них щеточных материалов, изготавливаемых в двух странах, марками-аналогами являются:

Франция	CG33	CG2 CG50	CG3, CG65	CG1, CG75
ЧССР . . .	K65	K82	K43	K31

1.2.6. Классификация щеточных материалов с помощью композиционных треугольников в принципе позволяет решать многие задачи, связанные с изучением закономерностей изменения параметров и свойств щеток и установлением для них марок-аналогов. Однако практическому использованию описываемого метода препятствует отсутствие сведений о составе щеточных материалов, изготавливаемых в разных странах.

Если состав щеточных материалов металло-графитного класса еще может быть установлен с помощью химического анализа, то способов определения состава щеточиых материалов всех прочих классов не существует. По указаниой причине построение композиционных треугольников для щеточных материалов зарубежного производства, в общем случае, оказывается невозможным, и для решения различных практических задач, связанных с заменой щеток, изготовленных за рубежом, приходится изыскивать дополнительные приемы. В последующем изложении в основу всех построений и выкладок будет положена обобщенная схема классификации щеточных материалов (рис. 1.6). Она получена при совмеще-

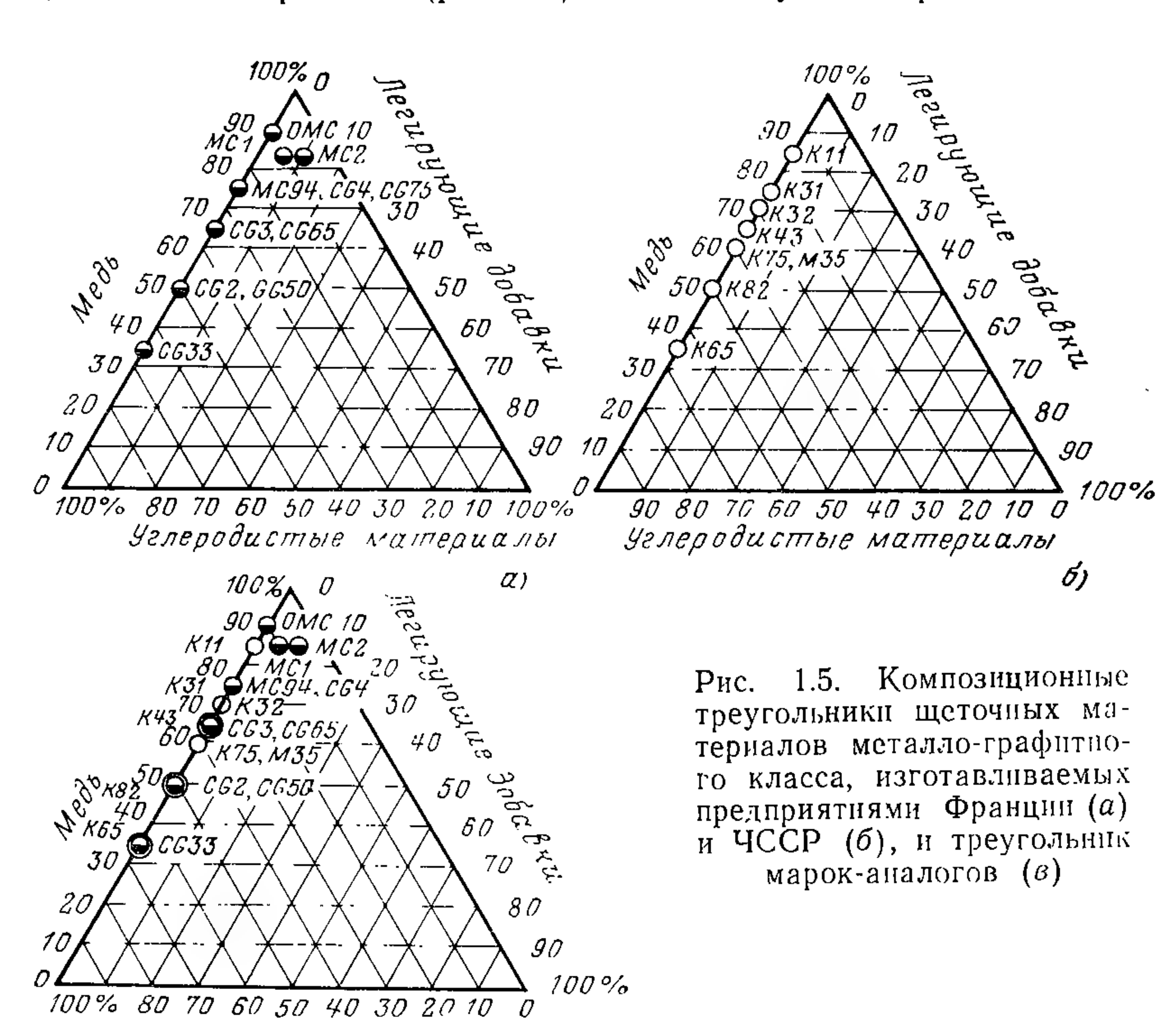


Рис. 1.5. Композиционные треугольники щеточных материалов металло-графитного класса, изготавливаемых предприятиями Франции (*а*) и ЧССР (*б*), и треугольник марок-аналогов (*в*)

нии элементов групповой классификации с элементами композиционных треугольников, построенных для ряда хорошо изученных композиционных систем. Подобный прием позволяет свести подавляющее большинство изготавливаемых в разных странах щеточных материалов к показанной системе. Средняя линия этого рисунка соответствует щеточному материалу, целиком и полностью состоящему из графита. По мере перемещения от средней линии влево в составе материала происходит постепенное замещение графита медью, при перемещении вправо графит постепенно замещается сажей. Под шкалой «компоненты состава» располагаются шкалы, содержащие разметку классов и групп (под-

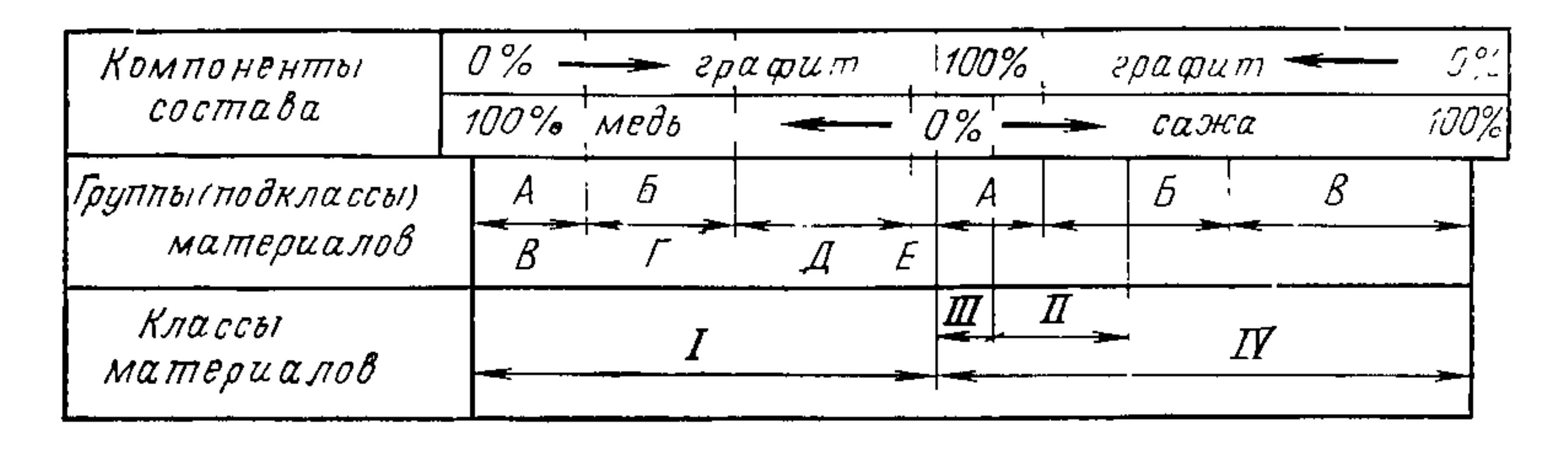


Рис. 1.6. Обобщенная схема классификации щеточных материалов

классов) щеточных материалов, соответствующую разметке, приведенной в табл. 1.1. Практическое использование описанного способа классификации щеточных материалов будет описываться в дальнейшем многократно.

1.3. Технические параметры щеточных материалов

1.3.1. Оценка свойств щеточных материалов производится с помощью различных параметров, определяемых на отдельных стадиях технологического процесса щеточного производства. Наибольший интерес для дальнейшего представляют свойства и параметры готовых щеточных материалов, обеспечивающие удовлетворительную работу щеток. Хотя требования, предъявляемые к щеткам, эксплуатируемым в самых разнообразных условиях, сформулированы достаточно четко, комплексного показателя их качества создать пока не удалось и различные производители щеточной продукции оценивают ее с помощью различных единичных показателей. В качестве таковых принимаются разнообразные технические параметры, приводимые в национальных стандартах, каталогах и всякой иной документации. Используемые параметры принято относить к одной из следующих четырех групп: физико-химические, механические, коллекторные и эксплуатационные.

1.3.2. К группе физико-химических параметров щеточных материалов относятся удельное электрическое сопротивление ρ, плотность γ и содержание золы З. Названные параметры теснейшим образом связаны с природой порошковых систем, к числу которых относятся рассматриваемые материалы. С их помощью удается оценивать правильность хода технологических процессов производства щеточных материалов, поскольку их значения зависят от степени размола и рассева исходных порошков, размеров частиц порошка, соотношения количеств порошков и связующих, степени смешения, условий прессования и многих других технологических факторов.

1.3.3. В группу механических параметров щеточных материалов входят твердость, определяемая по какому-нибудь из известных методов (по стандарту СЭВ 137-74, по Шору, по Бринеллю или по Роквеллу), и предел прочности при каком-нибудь из видов деформации (при сжатии, растяжении или изгибе). Иногда с исследовательской целью производят определение модуля упругости первого рода.

1.3.4. Группу коллекторных параметров щеточных материалов образуют переходное падение напряжения на пару щеток 2 ΔU, коэффициент трения μ и износ при испытаниях на короткозамкнутом коллекто-

ре в течение заданного промежутка времени Δh. В отличие от физических и механических параметров, однозначно определяемых свойствами щеточных материалов, коллекторные параметры отражают взаимодействие материала щеток с поверхностью скольжения короткозамкнутого коллектора испытательного стенда. Дополнительное влияние на коллекторные параметры оказывает также окружающая среда.

1.3.5. Группа свойств, определяющих условия использования щеточных материалов в реальных условиях эксплуатации, в информационной документации всех крупнейших изготовителей щеток описывается с помощью трех параметров: номинальной плотности тока J, максимально допустимой окружной скорости на поверхности скольжения коллектора или контактного кольца v и допустимого удельного нажатия p.

Эксплуатационные параметры щеточных материалов в еще большей мере, чем коллекторные, подвергаются влиянию различных факторов. В число этих факторов помимо состояния поверхностей скольжения коллекторов (контактных колец) и внешней среды, входят также расчетные параметры электрических машин, характер настройки их электромагнитных систем, вид нагрузочных графиков и многое другое.

1.3.6. Параметры щеточных материалов, входящие в каждую из четырех рассмотренных групп, используются поставщиками щеток далеко не в равной мере. Одни из этих параметров содержатся в информационных документах об изготавливаемых щетках всех или большинства их поставщиков; другие — встречаются в документах только отдельных изготовителей щеточной продукции. Технические параметры, используемые крупнейшими поставщиками различных стран для оценки свойств щеточных материалов, перечислены в табл. 1.2. Использованные в этой таблице обозначения (+) и (—) свидетельствуют о том, что тот или иной изготовитель щеток в своей информации данный параметр применяет (+) или не применяет (—).

1.3.7. Данные табл. 1.2 свидетельствуют о том, что даваемая изготовителями щеток информация о своей продукции крайне скудно освещает ее эксплуатационные свойства. Между тем на современном этапе развития научно-технической революции, когда эксплуатационные свойства продукции промышленного производства должны оцениваться по показателям, предписываемым общей теорией надежности, возникла необходимость в более подробном описании служебных свойств щеток. С целью получения документальных данных для подобного описания в отечественной промышленности в 1977 г. введены в действие Руководящие технические материалы (РТМ) 16.800.444-77, определяющие порядок сбора, прохождения и обработки информации о качестве и надежности по результатам стендовых и эксплуатационных испытаний электроугольных изделий. В соответствии с указанными РТМ показателями надежности щеток электрических машин являются средний ресурс $T_р$., гамма-процентный ресурс $\bar{T}_{р\gamma}$ и интенсивность внезапных отказов γ_0.

Введение в отечественной промышленности названных РТМ позволило приступить к созданию нормативно-технических документов на щетки, в которых оценка их эксплуатационных свойств является вполне определенной (см., например, ГОСТ 12919-79).

1.3.8. Одним из важнейших, если не самым важным, параметром щеточных материалов является коммутирующая способность. Между тем в технической документации на щетки никаких сведений об этой их способности не приводится. Подобное обстоятельство объясняется тем, что коммутирующая способность щеточных материалов в течение длительного времени являлась качественной оценкой, не имевшей своего строгого физического определения. С 1955 г. в печати начали публиковаться результаты исследований, имевших целью вложить в рассматри-

Таблица 1.2. **Указатель технических параметров, используемых предприятиями различных стран для оценки свойств щеточных материалов**

Изготовители щеток	Физико-химические параметры:			Механические параметры:							Коллекторные параметры:			Эксплуатационные параметры:	
				твердость по				предел прочности при							
	удельное электрическое сопротивление	плотность	содержание золы	ГОСТ 9706.1-74	Шору	Бринеллю	Роквеллу	сжатии	растяжении	изгибе	переходное падение напряжения	коэффициент трения	износ	номинальная плотность тока	допустимая окружная скорость
Отечественные предприятия	+	—	+	+	—	—	—	+	—	—	+	+	+	—	+
Народное предприятие „Электроколе Лихтенберг" (Elektrokohle Lichtenberg), ГДР	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—		+	—	+	+
Предприятия Чехословацкой Социалистической Республики	+	+	—	—	+	+	—		—	—	+		+	+	+
Предприятия Польской Народной Республики	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
Предприятие Народной Республики Болгария	+	—	+	—	—		+	+	—	—	+	+	+	+	+
Предприятия фирмы „Юнион Карбайт Корпорейшен" (Union Carbide Corp.), США	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	+	+
Предприятия фирмы „Морганайт" (Morganite carbon Ltd), Англия	+	—	—		—	—	—	—	—	—	+	+	—	+	+

Продолжение табл. 1.2

Изготовители щеток	Физико-химические параметры: удельное электрическое сопротивление	Физико-химические параметры: плотность	Физико-химические параметры: содержание золы	Механические параметры: твердость по ГОСТ 9306. 1-74	Механические параметры: твердость по Шору	Механические параметры: твердость по Бринеллю	Механические параметры: твердость по Роквеллу	Механические параметры: предел прочности при сжатии	Механические параметры: предел прочности при растяжении	Механические параметры: предел прочности при изгибе	Коллекторные параметры: переходное падение напряжения	Коллекторные параметры: коэффициент трения	Коллекторные параметры: износ	Эксплуатационные параметры: номинальная плотность тока	Эксплуатационные параметры: допустимая окружная скорость
Предприятия фирмы „Ле Карбон Лоррен“ (Le Carbon-Lorraine), Франция	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	+	+	—	+	+
Предприятия фирмы „Рингсдорф“ (Ringsdorff-Werke GMBH) ФРГ	+	+	—	—	+	+	—	—	+	+	+	+	—	+	+
Предприятия фирмы „Шунк унд Эбе“ (Schunk-Ebe GMBH), ФРГ	+	+	—	—	—	+	—	—	—	+	+	+	—	+	+
Предприятия фирмы „Хитачи“ (Hitachi Chemical co, Ltd), Япония	+	—	—	—	+	—	—	+	—	—	+	+	—	+	+

Продолжение табл. 1.2

Изготовители щеток	Физико-химические параметры:			Механические параметры							Коллекторные параметры			Эксплуатационные параметры:	
				твердость по				предел прочности при							
	удельное электрическое сопротивление	плотность	содержание золы	ГОСТ 9306. 1-71	Шору	Бринеллю	Роквеллу	сжатии	растяжении	изгибе	переходное падение напряжения	коэффициент трения	износ	номинальная плотность тока	допустимая окружная скорость
Предприятия фирмы „Ниппон Карбон Компани“ (Nippon Carbon Co, Ltd), Япония	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	+	+	—	+	+
Предприятия фирмы „Тойо Карбон Компани“ (Taiyo Carbon), Япония	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	+	+	—	+	+
Предприятия фирмы „Тосиба Денко Компани“ (Toshiba Ceramics Co), Япония	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	+	+	—	+	+

ваемое понятие конкретное физическое содержание. Наиболее полно поставленная задача решена с помощью параметра, вошедшего в литературу под названием индекса коммутации. Индекс коммутации N представляет собой относительную количественную оценку способности щеток при применении на конкретной электрической машине обеспечивать ту или иную зону безыскровой работы. В качестве базы, относительно которой определяются значения N, принята электрографитированная композиция, основным компонентом которой является графит и для которой $N=1$. По мере возрастания или уменьшения значений N коммутирующие свойства щеток соответственно повышаются или снижаются. Этот и другие методы определения коммутирующей способности щеток подробно описаны в [2.2], где даны ссылки на соответствующие работы по этому вопросу.

1.4. Методы испытаний щеточных материалов

1.4.1. Испытания щеточных материалов производятся с целью определения значений технических параметров, описывающих различные их свойства. Несмотря на всю свою значимость, практикуемые в разных странах методы этих испытаний в течение длительного времени унифицированы не были и один и тот же параметр в различных странах определяется по-разному.

В последние годы описываемое положение начало изменяться. Вопросами стандартизации методов испытаний щеточных материалов теперь занимается Секретариат 2F Международной Электротехнической Комиссии (МЭК), выпустивший несколько рекомендаций по рассматриваемому вопросу, а с 1978 г. начал действовать Стандарт СЭВ 137-74, устанавливающий методы определения удельного электрического сопротивления, твердости, плотности, предела прочности на изгиб и содержание золы.

В последующем изложении будут описаны методы испытаний, практикуемые в отечественном щеточном производстве, которые в некоторой своей части лежат в основе стандарта СТ СЭВ 137-74. Целесообразность подобного описания обусловливается п. 3.7 ГОСТ 2332-75, предоставляющим потребителям право осуществлять входной контроль получаемой ими щеточной продукции.

1.4.2. Метод определения удельного электрического сопротивления щеточных материалов установлен ГОСТ 9506.4-74 и СТ СЭВ 137-74. В соответствии с перечисленными документами размеры образца для соответствующих испытаний, схема вырезания его из щетки или блока щеточного материала, а также схема применяемого для испытаний прибора должны соответствовать показанным на рис. 1.7. Операции по определению рассматриваемого параметра выполняются в следующей последовательности: определив размеры Δ_1 и Δ_2 сторон, образующих поперечное сечение образца, его устанавливают между токовыми электродами измерительного устройства и пропускают через него ток, значение которого определяется выражением

$$I = J\Delta_1 \Delta_2,$$

где J — плотность тока, выбираемая из следующих условий: 1 — 5 А/см² — для материалов II, III и IV классов; 10 — 20 А/см² — для материалов I класса, имеющих удельное электрическое сопротивление более 1 мкОм·м; 50 — 100 А/см² — для материалов I класса, имеющих удельное электрическое сопротивление 1 мкОм·м и менее.

Пропустив ток через образец, на нем устанавливают потенциальные ножи, находящиеся на расстоянии l_n друг от друга и измеряют падение напряжения U_1. Произведя первое измерение, образец поворачивают вокруг продольной оси на 180° и, повторяя аналогичное измерение, получают еще одно значение U_2. По полученным при испытании значе-

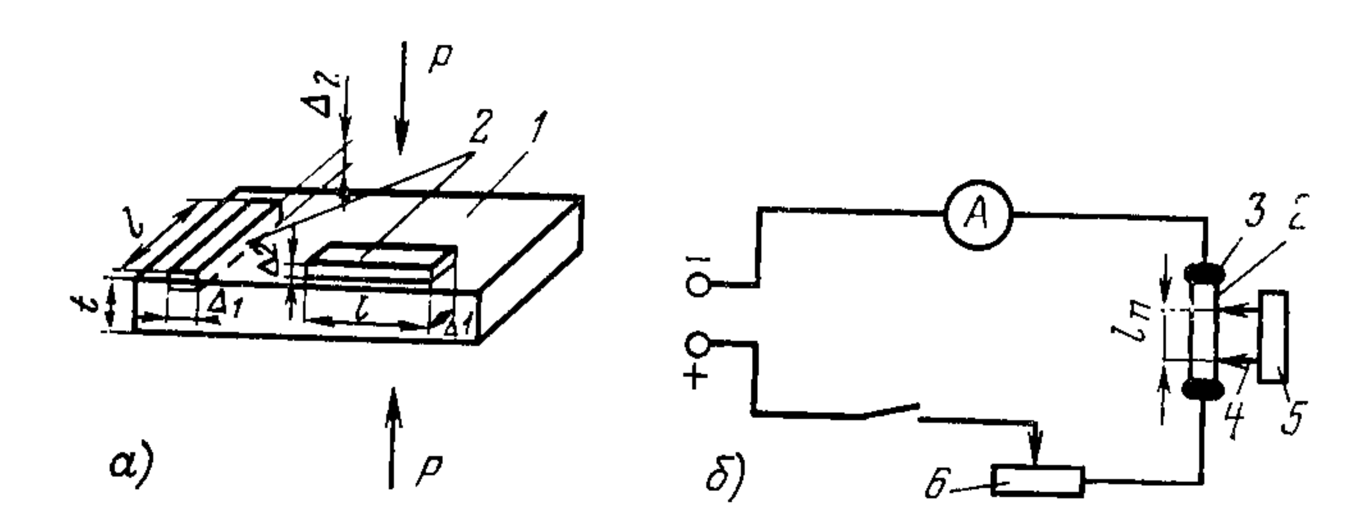


Рис. 1.7. Размеры и расположение образца по отношению к щетке или блоку, из которых он вырезается (*а*), и принципиальная схема прибора для измерения удельного электрического сопротивления (*б*):

Размеры образца, мм

Δ_1	Δ_2	l	Допуск
10	10	6[illegible]	±0,8
10	10	40	
4	8	32	
2	2	12	±0,4

1 — щетка или блок; *2* — образец для измерений; *P* — направление усилия прессования; *t* — тангенциальный размер щетки; *3* — токовые электроды; *4* — потенциальные ножи; *5* — милливольтметр или потенциометр; *6* — реостат

ниям U_1 и U_2 искомое значение удельного электрического сопротивления рассчитывают по формуле

$$\rho = (U_1 + U_2)\,\frac{\Delta_1\,\Delta_2}{2Il_n}. \qquad (1.1)$$

1.4.3. Твердость определяется методом, установленным ГОСТ 9506.3-74. Для измерений применяются приборы типа ТК, укомплектованные набором грузов, подвеской, державкой и шариками. Прибор типа ТК соответствует ГОСТ 23677-79, шарики — ГОСТ 3722-81, все прочие детали — ГОСТ 9506.3-74. В последнем из названных стандартов имеются таблицы, с помощью которых определяются значения измеряемых величин, в зависимости от показаний индикатора прибора.

Измерения могут проводиться, как на готовых щетках, так и блоках. В первом случае на каждой из сторон готового изделия производится по одному, а во втором на каждой стороне блока по три измерения.

1.4.4. Метод определения предела прочности при сжатии нормирован ГОСТ 2332-75. Для соответствующих испытаний из блока проверяемого материала вырезается кубик с размерами граней (10±0,1) мм. Грань образца, параллельная плоскости прессования (см. рис. 1.7), должна быть отмечена. Образец испытывают на разрывной машине, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 7855-74. Установку образца на опоре машины производят таким образом, чтобы направление приложе-

ния нагрузки было перпендикулярным плоскости прессования. К установленному образцу прикладывают нагрузку, причем скорость перемещения подвижной части машины должна составлять 20 мм/мин. В момент разрушения образца фиксируют вызвавшую это разрушение нагрузку Q. Зная площадь поперечного сечения образца F, искомое значение предела прочности при сжатии определяют по формуле

$$\sigma_{сж} = Q/F. \quad (1.2)$$

1.4.5. Содержание золы определяется у щеточных материалов черных марок, не содержащих пропитывающих веществ. Метод определения установлен ГОСТ 9506.5-74 и СТ СЭВ 137-74, согласно которым анализу подвергается предварительно измельченная, просеянная через сетку 0,25 и высушенная при 100—150 °С проба массой около 5 г. Эта взвешенная с точностью до 0,0002 г. проба помещается в фарфоровую лодочку после того, как она была прокалена до постоянной массы при температуре 800—1000° С. Лодочка с пробой ставится на край открытой печи, выдерживается здесь 20—30 мин, после чего ее передвигают в зону полного нагрева печи. Прокалив содержимое лодочки в течение 4—5 ч до постоянной массы, ее извлекают из печи, охлаждают сначала на воздухе в течение 5 мин, а затем в эксикаторе над хлористым кальцием до комнатной температуры и повторно взвешивают с той же точностью до 0,0002 г. Контроль постоянства массы зольного остатка производится путем его повторного прокаливания в течение 15 мин. Если при двух последовательных взвешиваниях разница в массе будет менее 0,001 г, то масса признается постоянной и для расчета принимается последний результат. Искомое значение содержания золы в исследуемом материале в процентах определяется по формуле

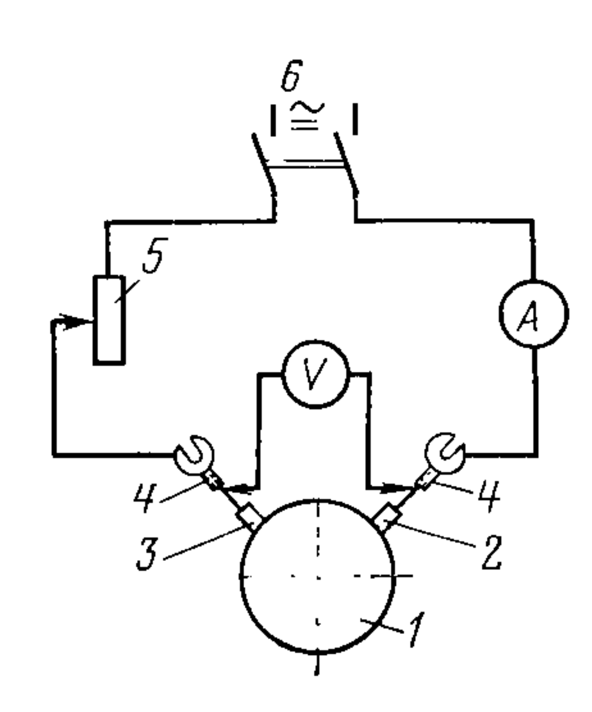


Рис. 1.8. Принципиальная схема короткозамкнутого коллектора:

1 — короткозамкнутый коллектор; *2*, *3* — щетки; *4* — токоведущие провода щеток; *5* — реостат; *6* — источник тока 6—12 В

$$З = 100\frac{G_3 - G_1}{G_2 - G_1}, \quad (1.3)$$

где G_1 — масса пустой лодочки, г; G_2 — масса лодочки с навеской испытуемого материала до прокаливания, г; G_3 — масса лодочки с зольным остатком, г.

Стандарт предусматривает проведение описываемого анализа на двух пробах, расхождение между которыми не должно превышать: 0,05; 0,25 и 0,50% при зольности <1, от 1 до 3 и >3% соответственно.

За окончательный результат принимается среднее арифметическое двух параллельных определений.

1.4.6. Группа коллекторных параметров щеточных материалов получила свое название от вида испытательных стендов, применяемых для их определения. Основой этих стендов является элемент, имитирующий коллектор электрической машины, все ламели которого замкнуты накоротко. Принципиальная схема короткозамкнутого коллектора показана на рис. 1.8. Что касается конструктивного оформления и режимов проведения испытаний, то в разных странах они продолжают

оставаться различными. В отечественной промышленности метод коллекторных испытаний установлен ГОСТ 9506.7-74, согласно которому условия их проведения должны соответствовать приведенным в табл. 1.3.

На коллекторах типа КЗК-95 испытываются образцы щеток, изготовленных из материалов марок Г3, ЭГ2А, ЭГ4, ЭГ8 ЭГ14, ЭГ51, ЭГ61,

Таблица 1.3. **Режимы проведения коллекторных испытаний щеточных материалов**

Тип коллектора	Диаметр коллектора, мм	Окружная скорость, м/с	Плотность тока, А/см²	Давление на щетку, гПа	Размеры сечения щетки, мм	Количество щеток	Продолжительность испытания, ч
КЗК-95	95	25	20	800	8×12,5	4	20
КЗК-280	200	15	по ГОСТ	2332-76	8×24; 2×24	6	50

ЭГ71, ЭГ74, ЭГ85 и 611М. Образцы материалов всех прочих марок испытываются на коллекторах типа КЗК-280.

Устройство коллекторов позволяет регулировать режим работы испытуемых щеток, определять переходное падение напряжения на пару щеток различной полярности $2\Delta U$, измерять коэффициент трения μ между ними и поверхностью скольжения и их износ. Что касается практической значимости получаемых результатов, то они служат прежде всего для контроля проведенного технологического процесса изготовления щеточных материалов. Для электромашиностроителей и эксплуатационников представляют интерес значения переходного падения напряжения и коэффициента трения, определяющие потери в скользящем контакте электрических машин. Износ щеток на короткозамкнутых коллекторах с их износом в эксплуатации не коррелируется.

1.4.7. Определение коллекторных параметров щеточных материалов начинается с установки в щеткодержатели короткозамкнутого стенда щеток, изготовленных из испытуемого материала. Контактные поверхности этих щеток с помощью тонкошлифовальной бумаги притираются к профилю коллектора, после чего к каждой из них прикладывается соответствующее усилие P. Далее коллектору сообщается вращательное движение с окружной скоростью v и на каждую щетку подается ток I. Указанные здесь значения P и I определяются по формулам

$$P = pta; \qquad (1.4)$$

$$I = Jta, \qquad (1.5)$$

где t и a — тангенциальный и аксиальный размер щетки, см; p и J — удельное давление и плотность тока, выбираемые по табл. 1.3.

Из этой же таблицы выбираются и значения v. В выбранном режиме происходит так называемая предварительная приработка образцов, имеющая целью тщательную приработку их контактных поверхностей к профилю короткозамкнутого коллектора и образование на нем необходимой пленки (политуры). Выполнив перечисленные операции, тщательно измеряют высоту образцов, после чего их испытывают. Для этого коллектору сообщают вращение с окружной скоростью v и, установив в цепи найденный по формуле (1.5) ток I, проводят испытание образ-

цов в течение 20 или 50 ч (см. табл. 1.3). На этом этапе испытаний в первом случае через каждые 4 ч, а во втором через каждые 10 ч фиксируют показываемое вольтметром значение $2\Delta U$. Из полученных пяти значений $2\Delta U$ вычисляется среднее арифметическое, которое и принимается в качестве результата проведенных испытаний.

При испытании на коллекторе типа КЗК-95 в те же сроки, в которые измеряют значения $2\Delta U$ (т. е. через каждые 4 ч), по соответствующей шкале производят отсчет момента силы трения испытуемых образцов о рабочую поверхность коллектора $M_{тр}$. Располагая значениями этого момента, зная радиус коллектора R и суммарное нажатие на все образцы ΣP, искомый коэффициент трения вычисляют по формуле

$$\mu = M_{тр}/\Sigma PR. \qquad (1.6)$$

Коллекторы типа КЗК-280 устроены таким образом, что позволяют измерять не момент силы трения, а непосредственно силу трения $Q_{тр}$. В этом случае искомая величина окажется равной

$$\mu = Q_{тр}/\Sigma P. \qquad (1.7)$$

По завершении испытаний измеряют высоту щеток. Сопоставление заключительных измерений с измерениями, проведенными в начале испытаний, позволяет определить износ образца испытанного щеточного материала за время, в течение которого эти испытания продолжались.

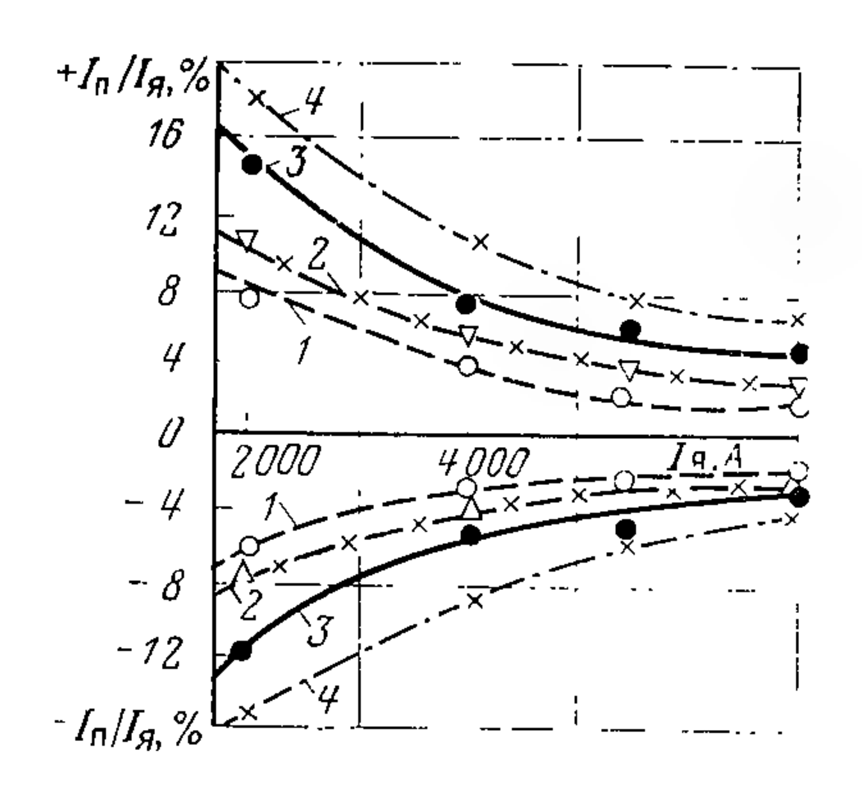


Рис. 1.9. Зона безыскровой работы электрической машины типа МП-6800-340 со щетками различных марок:

1 — ЭГ4; *2* — ЭГ2А; *3* — ЭГ14; *4* — ЭГ74

1.4.8. Значения индекса коммутации, характеризующего коммутирующую способность щеточных материалов, определяются на основе анализа зон безыскровой работы электрической машины со щетками, изготовленными из сравниваемых материалов. Необходимые вычисления проводятся с помощью формулы

$$N = S_i\, x_i^2 / S_б\, x_б^2. \qquad (1.8)$$

где $S_б$ и S_i — площади фигур, очерченных зонами безыскровой работы машин при работе со щетками базовой марки и щетками испытанных марок; $x_б$ и x_i — расстояние от оси тока подпитки добавочных полюсов до центра тяжести фигур площадью $S_б$ и S_i.

Вычисление значений N иллюстрируется на примере анализа безыскровых зон, полученных на электрической машине типа МП-6800-340 (500 кВт; 600/750 В) при последовательной установке на ней щеток марок ЭГ2А, ЭГ4, ЭГ14 и ЭГ74 (рис. 1.9). Определив площади фигур, ограниченных слева и справа границами графика, а сверху и снизу линиями границ безыскровых зон, зафиксированных при работе машины со щетками проверявшихся марок, и измерив расстояние центра тяжести каждой из полученных описанным образом фигур от ее левой границы, получаем четыре значения $S_i x_i^2$, каждое из которых отно-

сится к щеткам определенной марки. Прияв в качестве базового произведение $S_б x^2_б$ для зоны, полученной при использовании щеток марки ЭГ4, и, разделив на него произведения $S_i x^2_i$, полученные при работе машины со щетками трех других проверявшихся марок, получаем следующий ряд значений N:

Марка щеток	ЭГ4	ЭГ2А	ЭГ14	ЭГ74
Значения N	1,0	1,3	1,8	2,8

Практически все указанные выкладки удобно производить следующим образом: зоны, изображенные на рис. 1.9, порознь перерисовать на лист плотной бумаги или тонкого картона, вырезать их, взвесить на аналитических весах и найти положение их центров тяжести. Искомые значения N находят по формуле (1.8), подставляя в нее, вместо площадей зон, массы полученных шаблонов.

1.4.9. Значения параметров J и U отдельной проверке не подвергаются. Их допустимые значения устанавливаются изготовителями щеточной продукции и вопрос о том, отвечают ли готовые щетки этим параметрам, решается в процессе проверки их работы на реальных электрических машинах. Аналогичным образом определяются и такие эксплуатационные параметры, как $\bar{T}_р$, $\bar{T}_р\gamma$ и γ_0. Методы определения перечисленных параметров щеток нормированы РТМ 16.800.444-77 и подробно описаны в § 2.8.

1.5. Анализ результатов испытаний щеточных материалов

1.5.1. Использование описанных методов испытаний щеточных материалов позволяет определить значения изучаемых параметров. Полученные данные позволяют устанавливать соответствие свойств проверяемых материалов требованиям технической документации на них и решать вопрос о возможности использования их для последующего изготовления щеток. Обобщение результатов подобных испытаний, осуществляемых в течение длительного времени выпуска продукции по установившимся технологическим процессам позволяет решать более общие задачи исследовательского характера. Одним из результатов подобного обобщения, осуществленного методами математической статистики, является установление того факта, что значения всех технических параметров, всех щеточных материалов распределены по закону, весьма близкому к нормальному (рис. 1.10), и что для описания этих распределений с достаточной для практики точностью можно пользоваться уравнением кривой нормального распределения

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} l^{-\frac{(x_i - \bar{X})^2}{2\sigma^2}} . \qquad (1.9)$$

Входящий в приведенное уравнение параметр $\bar{X}$ представляет собой наиболее вероятное значение изучаемого параметра, принимаемое в качестве среднего или номинального значения (в математической статистике он называется параметром расположения распределения).

Вычисляется параметр $\bar{X}$ с помощью следующего выражения:

$$\bar{X} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{i=n} x_i n_i}{\Sigma n}, \qquad (1.10)$$

где x_i — отдельное значение исследуемого параметра; n_i — частота появления этого значения в исследованных образцах; Σn — общее количество исследованных образцов.

Входящий в уравнение (1.9) параметр σ представляет собой среднее квадратическое отклонение (в математической статистике его называют

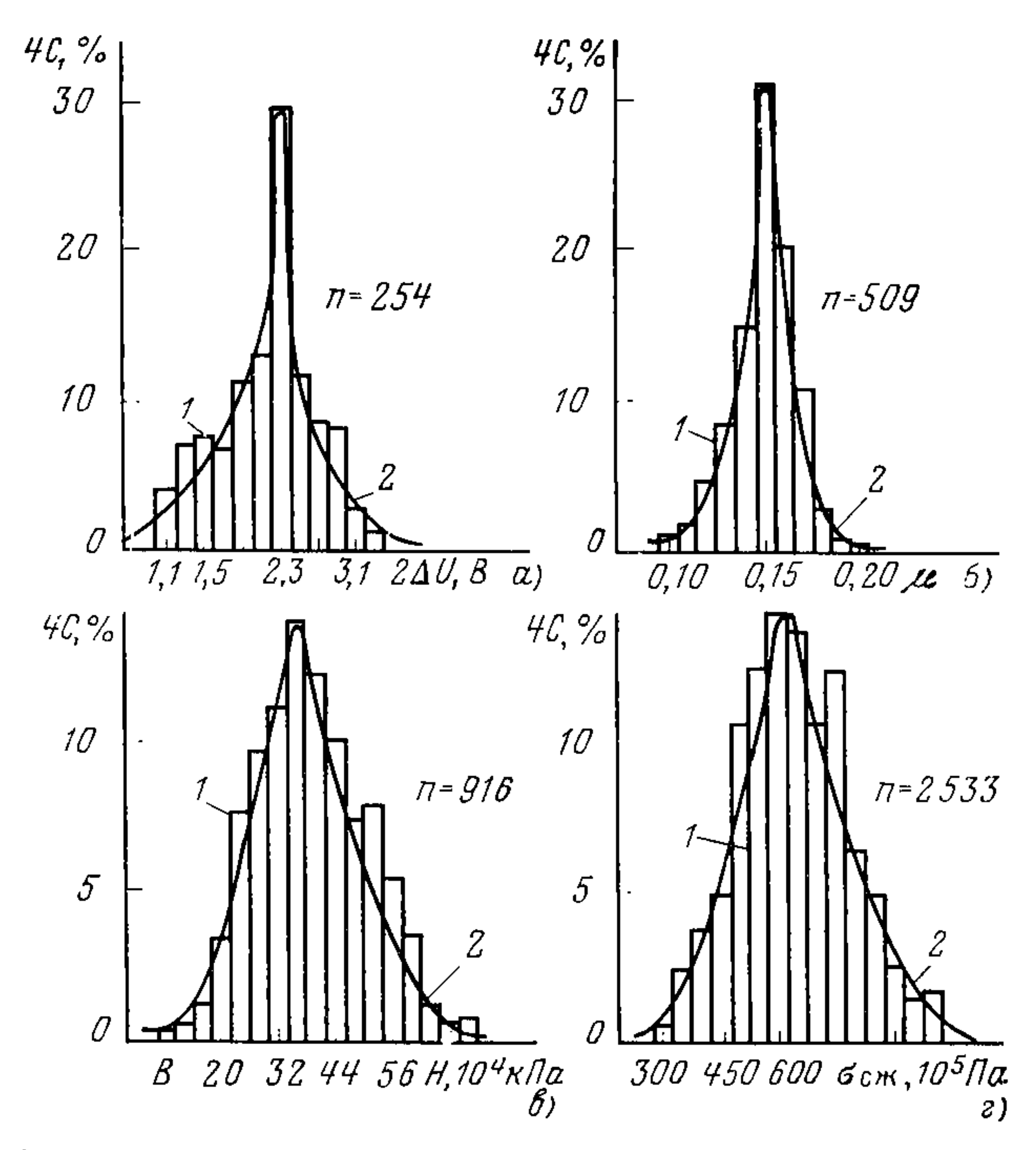


Рис. 1.10. Экспериментальные (1) и теоретические (2) распределения значений некоторых технических параметров щеточных материалов марок ЭГ4 (*а*), МГС5 (*б*), ЭГ74 (*в*) и ЭГ8 (*г*):

n — количество испытаний; $2\Delta U$ — переходное падение напряжения на пару щеток; μ — коэффициент трения; H — твердость; $\sigma_{сж}$ — предел прочности при сжатии; *ЧС* — частость

параметром рассеяния). Оно оценивает степень рассеяния отдельных значений исследуемого параметра x_i вокруг среднего значения $\bar{X}$. Для вычисления параметра σ служит формула

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{X})^2 n_i}{\Sigma n}}, \qquad (1.11)$$

в которой применены те же обозначения, что и в выражении (1.10).

Оценка свойств и параметров щеточных материалов с помощью статистических параметров расположения $\bar{X}$ и рассеяния σ используется при

решении различных исследовательских и прикладных задач. Одной из них является задача определения возможных предельных — максимальных и минимальных значений тех или иных параметров щеточного материала. Определение этих значений производится с помощью известного из математической статистики правила «трех сигм», представляемого формулами:

$$x_{max} = \overline{X} + 3\sigma; \qquad (1.12)$$

$$x_{min} = \overline{X} - 3\sigma. \qquad (1.13)$$

1.5.2. В условиях щеточного производства важную роль играет стабильность свойств изготавливаемой продукции, количественная оценка которой производится с помощью коэффициентов вариации $K_{вр}$ и однородности $K_{одн}$. Вычисление первого в процентах производится с помощью формулы

$$K_{вр} = 100\,\sigma/\overline{X}, \qquad (1.14)$$

а второго — по формуле

$$K_{одн} = \frac{x_{max}}{x_{min}} = \frac{\overline{X} + 3\sigma}{\overline{X} - 3\sigma} = \frac{1 + 0{,}03K_{вр}}{1 - 0{,}03K_{вр}}. \qquad (1.15)$$

По мере уменьшения σ распределение становится все более однородным. В предельном случае, когда $\sigma = 0$, произойдет совпадение значений x_{max} и x_{min} и определяемые по формулам (1.14) и (1.15) коэффициенты будут иметь значения:

$$K_{вр} = 100\sigma/\overline{X} = 0$$

$$K_{одн} = x_{max}/x_{min} = 1.$$

1.5.3. Чрезвычайно важной областью использования статистических параметров распределения технических параметров щеточных материалов является составление всякого рода технической документации на них (ГОСТ, технических условий, каталогов и т. п.). В связи с отсутствием в настоящее время общепринятой методики составления подобной документации различные изготовители щеток используют эти параметры по-разному. Наибольшее распространение получили следующие способы описания параметров: указываются интервалы, в которых изменяются значения параметров, или их средние значения, или указывается, что значение параметра должно быть «не более» или «не менее» определенного числа.

Наиболее полную информацию содержит первый из указанных способов описания параметров, показывающий их предельные значения. Вычислив полусумму этих значений, удается с достаточной для практики точностью определять средние значения.

1.5.4. Описание с помощью средних значений не дает никакого представления о действительно имеющем место распределении всех значений, свойственных тому или иному параметру щеточного материала определенной марки. Систематическое изучение закономерностей формирования подобных распределений показывает, что коэффициенты вариации различных параметров разных классов щеточных материалов являются неодинаковыми и их значения лежат в пределах, указанных в табл. 1.4.

Если в техническом документе указано среднее значение какого-либо параметра, то его предельные значения приближенно могут быть вычислены с помощью формул:

$$x_{max} = \overline{X}(1 + 0{,}03K_{вр}); \qquad (1.16)$$

$$x_{min} = \overline{X}(1 - 0{,}03\,K_{вр}), \qquad (1.17)$$

Таблица 1.4. Коэффициенты вариации $K_{вр}$ значений физических, механических и коллекторных параметров щеточных материалов

Параметр	Класс материала	Значения $K_{вр}$, %	
		предельные	средние
Удельное электрическое сопротивление	I	10—51	30
	II	11—16	14
	III	12—15	14
	IV	8—22	15
Предел прочности при сжатии	I	20—40	30
	II	22—29	26
	III	21—34	28
	IV	16—45	30
Переходное падение напряжения	I	13—55	34
	II	10—17	13
	III	13—24	18
	IV	12—20	16
Коэффициент трения	I	6—40	23
	II	22—24	23
	III	15—32	24
	IV	18—31	24
Износ	I	50—106	78
	II	42—77	60
	III	60—85	72
	IV	53—127	90

где $K_{вр}$ выбирается из последней графы табл. 1.4. Так, например, если в каталоге указано, что среднее значение удельного электрического сопротивления электрощеточного материала, относящегося к IV классу, равно 60 мкОм. то, поскольку для материалов данного класса в табл. 1.4 указано $K_{вр}=15\%$, заключаем, что в каждой партии этого материала имеется продукция, значения рассматриваемого параметра которой лежат в пределах от

$$x_{min} = \bar{X}(1 - 0{,}03K_{вр}) = 60(1 - 0{,}03\cdot15) = 33 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$$

до

$$x_{max} = \bar{X}(1 + 0{,}03K_{вр}) = 60(1 + 0{,}03\cdot15) = 87 \text{ мкОм}\cdot\text{м}.$$

Приведенная схема расчета дает удовлетворительные результаты в случаях, когда $K_{вр}\leqslant30\%$. При больших значениях $K_{вр}$ подобной схемой можно пользоваться только для вычисления возможных максимальных значений рассматриваемых параметров. Возможные минимальные значения этих параметров по формуле (1.17) при $K_{вр}>30\%$ определены быть не могут. Последнее объясняется тем, что кривые распределения значений износа обладают правой асимметрией.

1.6. Общие закономерности изменения свойств и параметров щеточных материалов

1.6.1. Общие закономерности изменения свойств изучаемых материалов выявляются путем рассмотрения изменений расположения значений их параметров, в зависимости от состава и особенностей технологических процессов изготовления, классифицированных в соответствии с рис. 1.6. Получаемые при этом графики имеют, как показано в [1.4], физико-математическое обоснование и с их помощью решаются многие вопросы теории и практики создания и эксплуатации щеток. Однако при пользовании полученными графиками никогда не следует упускать из вида, что они отражают закономерности изменения номинальных, т. е.

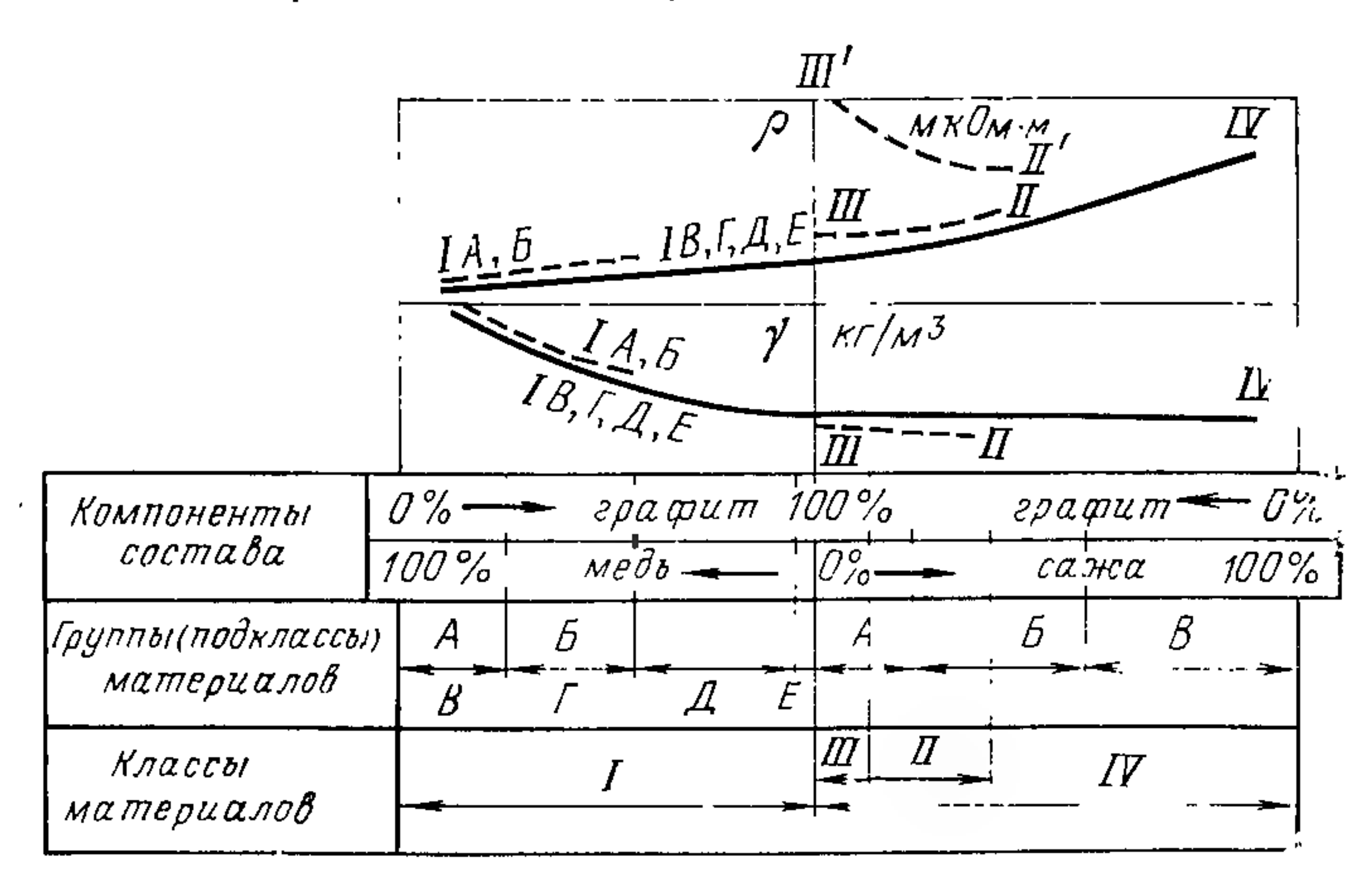


Рис. 1.11. Общие закономерности изменения физических параметров щеточных материалов

наиболее вероятных значений изучаемых параметров. Поскольку при этом данный параметр каждой марки щеточного материала имеет еще ряд значений, то сверху и снизу линий графиков изменения номинальных значений располагаются зоны изменения всех возможных значений. Верхняя и нижняя границы этих зон, т. е. возможные максимальные и минимальные значения рассматриваемого параметра, могут быть определены с помощью ранее приведенных формул (1.12) и (1.13) или (1.16) и (1.17).

1.6.2. Общие закономерности изменения физических параметров щеточных материалов изображены на рис. 1.11. Две верхние кривые этого рисунка описывают изменение значений удельного электрического сопротивления ρ. Характер изображенных здесь плавных кривых обусловлен значениями удельного электрического сопротивления порошков меди, графита и сажи, составляющих основу щеточных композиций. Эти кривые иллюстрируют последовательное изменение значений ρ по мере замещения в составе композиции меди графитом (как это имеет место у композиций I класса), а затем графита сажей (как это имеет место у композиций всех прочих классов). Медно-графитные композиции с легирующими добавками (композиции групп IА и IБ) обладают несколько повышенными значениями ρ по сравнению с аналогичными по содержанию меди, но лишенными подобных добавок материалами групп

IВ и IГ. Сделанное замечание остается справедливым и по отношению к угольно-графитным и графитным материалам по сравнению с идентичными по составу электрографитированными материалами. Об этом свидетельствует пунктирный участок графика *II—III*. Положение указанного участка можно существенно изменить, применяв в качестве связующего синтетические смолы. В последнем случае получают материалы, значения ρ у которых изменяются в соответствии с участком графика *II′—III′*.

Общий интервал изменения значений ρ весьма значителен. Его нижняя граница приближается к 0,05 мкОм·м, а верхняя — достигает 1000—1500 мкОм·м.

1.6.3. Характер изменения плотности отражает нижняя кривая рис. 1.11. Расположение показанных здесь линий обусловлено плотностью

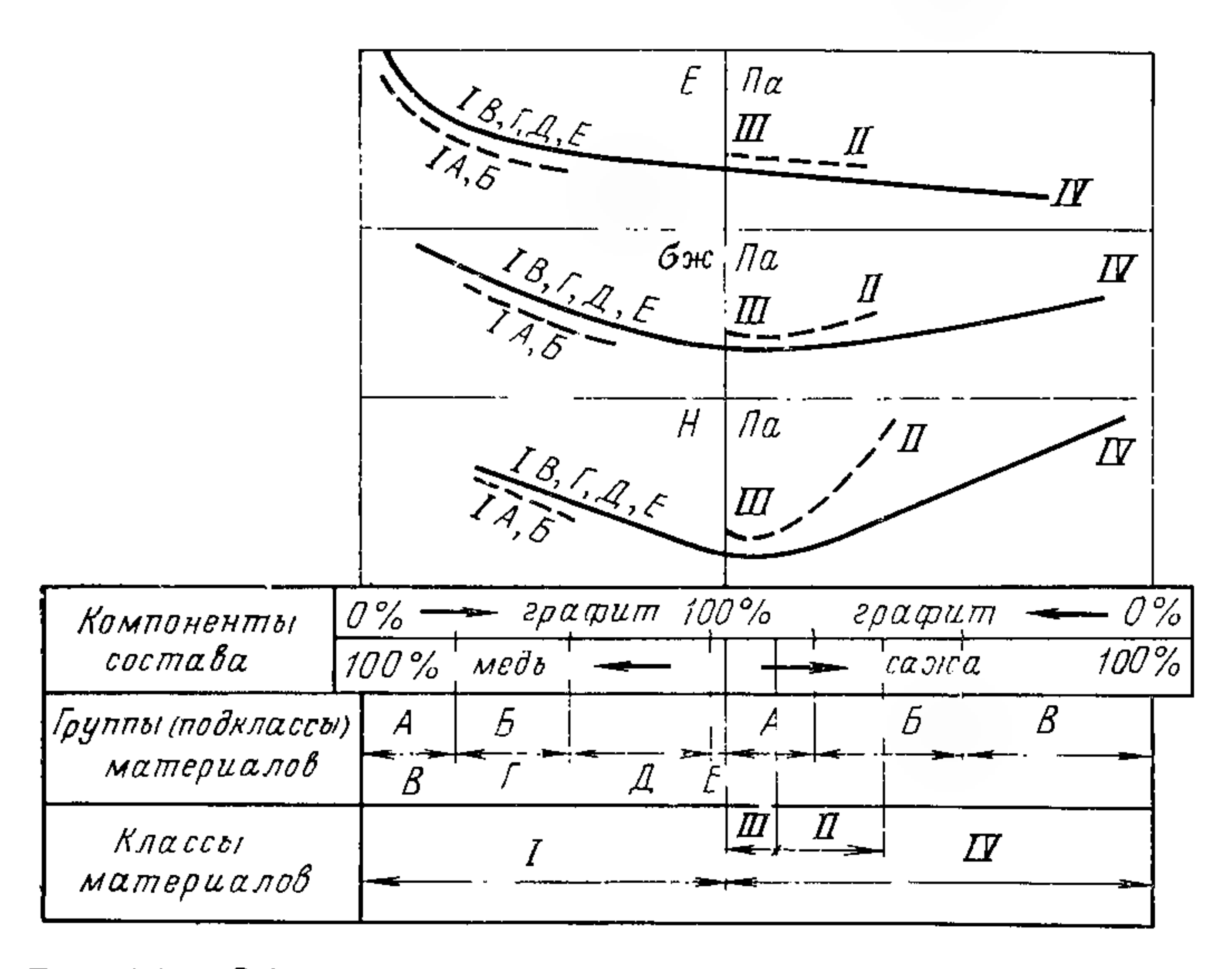


Рис. 1.12. Общие закономерности изменения механических параметров щеточных материалов

исходных сырьевых материалов. Вот почему участок графика, характеризующий материалы групп IА и IБ, расположен выше основной линии, характеризующей все прочие группы материалов I класса, и правая ветвь этой основной линии последовательно снижается для всех материалов IV класса. Нижнее значение рассматриваемого параметра достигает 1400 кг/м^3, его верхнее предельное значение приближается к 8100 кг/м^3. Таким образом, кратность его изменения для всей массы выпускаемых щеточных материалов приближается к 6.

1.6.4. Общий характер изменения механических параметров изучаемых материалов показан на рис. 1.12. Нижняя кривая этого рисунка иллюстрирует характер изменения твердости. Минимальной твердостью обладают композиции, основным компонентом которых является графит. По мере замещения в составе композиции графита сажей или медью значения твердости последовательно возрастают. Правая ветвь графика достигает больших значений, чем левая. Введение в состав металло-

графитных композиций легирующих добавок снижает значение твердости. Общий интервал изменения этого параметра, измеренного по методу Шора во всей номенклатуре выпускаемых в разных странах щеточных материалов, располагается в пределах от 2 до 80.

1.6.5. Средняя кривая на рис. 1.12 отражает закономерность изменения предела прочности при сжатии в какой-то мере повторяет ранее рассмотренную закономерность изменения твердости. Только на графике $\sigma_{сж}$ левая ветвь поднимается выше правой, поскольку предел прочности при сжатии композиций, содержащих значительное количество меди, приобретает очень высокие значения. Для композиций, содержащих свыше 80% металла, вызвать разрушение путем сжатия вообще не удается, поскольку при приложении сжимающих нагрузок они не разрушаются, а пластически деформируются. В области минимума значения $\sigma_{сж}$ составляют примерно $110 \cdot 10^5$ Па, для чисто сажевых композиций это значение возрастает до $500 \cdot 10^5$ Па, у металло-графитных композиций значения предела прочности при сжатии достигают $(1000—1250) \cdot 10^5$ Па.

1.6.6. Общая закономерность изменения модуля упругости первого рода E (рис. 1.12) несколько отличается от других кривых этого же рисунка. Отличие состоит в характере расположения правой ветви, относящейся к материалам II, III и IV классов. Оно обусловлено особенностями пористых структур, которыми обладают материалы этих классов. Для материалов группы IV В модуль $E = 500 \cdot 10^5$ Па, материалы группы IB имеют $E = 3000 \cdot 10^5$ Па. Таким образом, кратность изменения описываемого параметра во всей номенклатуре марок приближается к 6.

1.6.7. Общие закономерности изменения рассматриваемых связей применительно к коллекторным параметрам изучаемых материалов показаны на рис. 1.13. Характер плавного изменения переходного падения напряжения на пару щеток $2\Delta U$ в композициях I и IV классов целиком и полностью обусловлен физическими свойствами меди, графита и сажи, являющихся основными компонентами этих композиций и оказывающих влияние на состав верхнего слоя коллекторной политуры (пленки). Значения $2\Delta U$ для материалов II—III классов в общем случае несколько снижены по сравнению со значениями этого параметра для композиции других классов, но эта общая закономерность может быть изменена путем применения в качестве связующих веществ синтетических смол. Используя последнее, удается получать щеточные материалы, для которых значение $2\Delta U$ изменяется в соответствии с пунктирным участком *II'—III'* графика.

Общий интервал изменения значений $2\Delta U$ щеточной продукции, выпускаемой в различных странах мира, весьма значителен. Нижнее значение этого интервала приближается к 0,2 В, а в отдельных случаях даже к 0,02 В. Верхняя граница этого интервала достигает в настоящее время 5,5 В.

1.6.8. Закономерность изменения коэффициента трения щеточных материалов отражает средняя кривая рис. 1.13. Из рисунка следует, что значения μ с составом материалов не связаны. Подобный результат резко отличается от большинства ранее рассмотренных закономерностей. Это отличие обусловлено особенностями практикуемого в отечественной промышленности метода определения значения μ. Как было указано в п. 1.4.7, при проведении соответствующих экспериментов испытуемые щетки нагружаются таким образом, чтобы плотность тока в них соответствовала номинальной. Значения последней для материалов групп IA, IБ, IB и IГ существенно превосходят значения, допустимые для материалов других классов (см. далее рис. 1.14). Последнее обстоятельство приводит к изменению температуры в зоне скользящего кон-

такта, а вместе с последней по Г-образной кривой изменяются и значения μ. Изображенное на рис. 1.13 расположение линии μ является следствием указанных взаимосвязанных явлений. Если рассматриваемую зависимость этого параметра от состава материала определять при неизменных условиях, то линия μ рис. 1.13 из почти горизонтального положения переместится в наклонное. Левый конец линии опустится относительно правого на 25—35%.

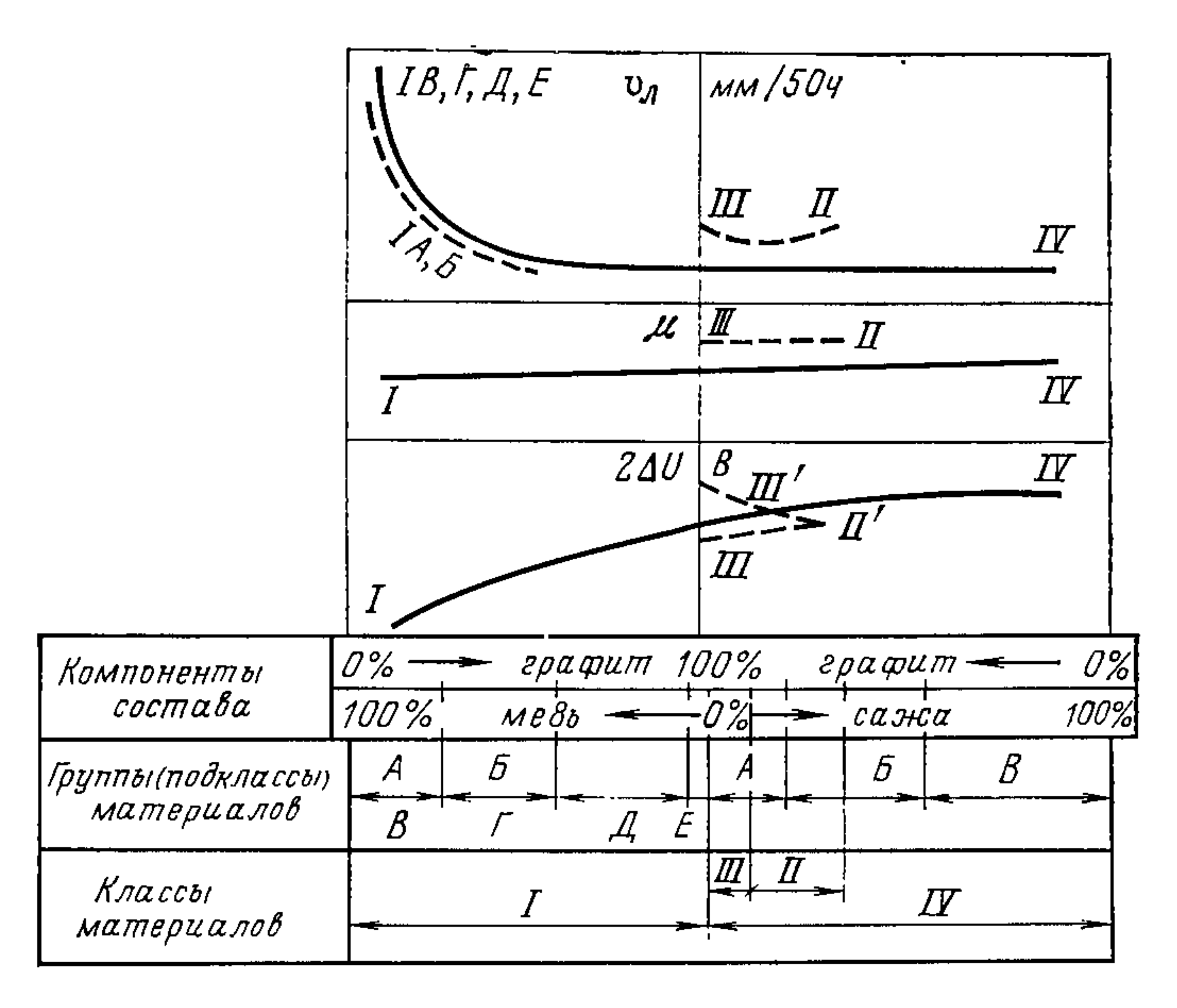


Рис. 1.13. Общие закономерности изменения коллекторных параметров щеточных материалов

1.6.9. Характер изменения износа $v_л$ щеточных материалов при испытании их на короткозамкнутых коллекторах показан в верхней части рис. 1.13. Заслуживающим внимания является факт снижения рассматриваемого параметра для легированных композиций и возрастание для материалов II и III классов.

Небезынтересным является факт горизонтального расположения участка кривой, относящейся к материалам IV класса. Он справедлив для современных высококачественных сажевых композиций с явно выраженной структурой. Если не обеспечить сохранение заданной структуры материала, содержащего значительное количество сажи, то при данном составе его износоустойчивость резко снизится, т. е. правый участок кривой поднимется вверх.

1.6.10. Общие закономерности изменения эксплуатационных параметров щеток, обусловленные составом материалов, иллюстрируются кривыми рис. 1.14. Нижние кривые этого рисунка свидетельствуют о том, что максимально возможные значения плотности тока J допустимы для щеточных композиций группы IА, т. е. для композиций, содержащих наибольшее количество меди и легирующие добавки. Несколько меньшие значения J допустимы для материалов, содержащих в своем

составе то же количество меди, но не имеющих легирующие добавки. По мере уменьшения меди в составе материалов и замене ее углеродистыми компонентами происходит дальнейшее уменьшение значений *J*. Их минимальные значения присущи материалам II и III классов.

Все здесь изложенное относилось к длительным режимам эксплуатации щеток. При использовании их в иных режимах фактические значения плотности тока в щетках существенно возрастают. Так, материал

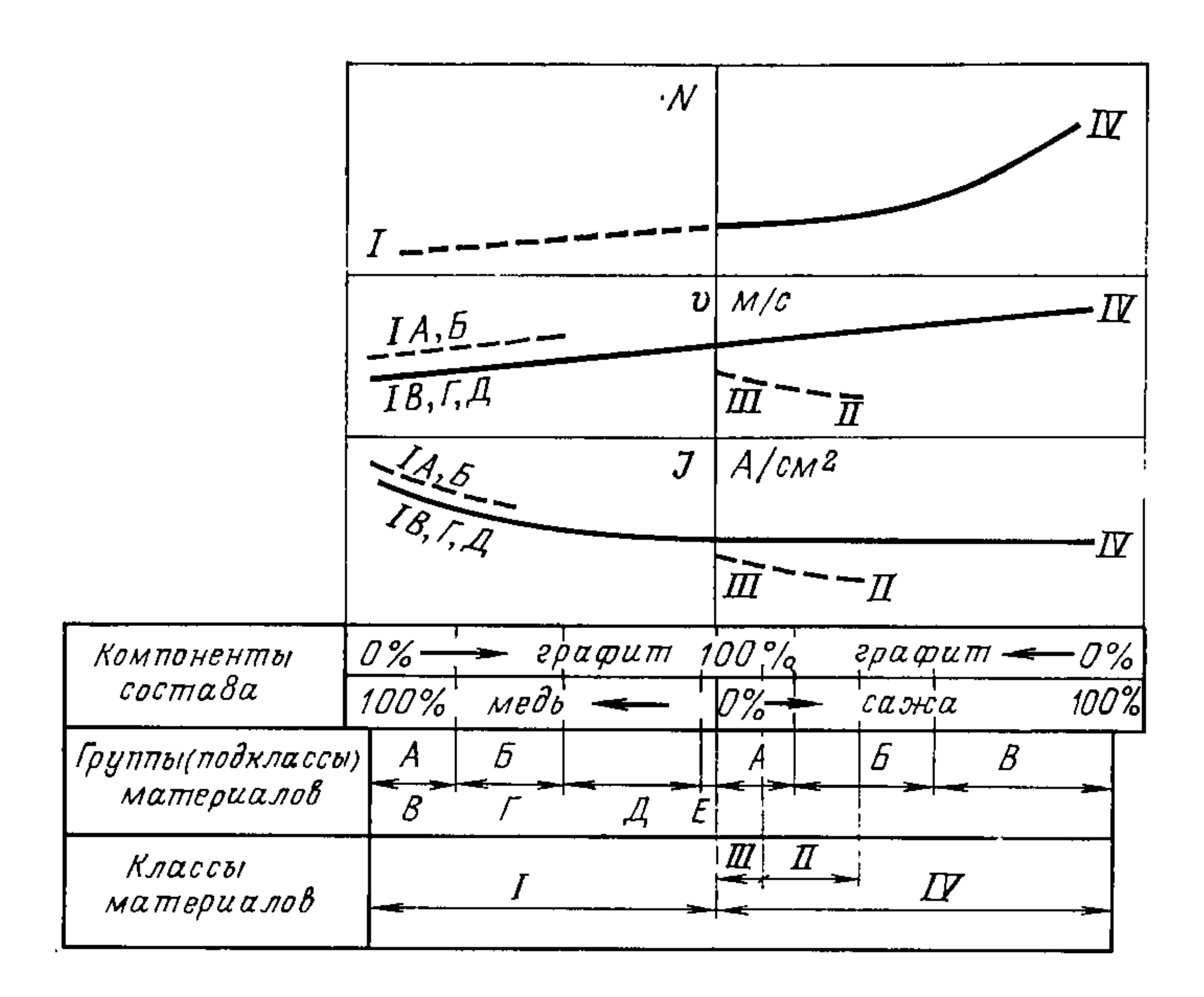


Рис. 1.14. Общие закономерности изменения некоторых эксплуатационных параметров щеточных материалов

группы IА, длительно допустимая плотность тока которого 20 А/см², при использовании на автомобильных стартерах в момент пуска при полностью заторможенном якоре нагружается так, что плотность в щетках достигает 200 А/см².

1.6.11. Характер изменения максимально допустимых значений окружной скорости, рекомендуемых изготовителями электрощеток, показан на средней части рис. 1.14. В самом общем случае значения *v* возрастают по мере того, как в составе щеточных композиций уменьшается содержание меди, уступающей свое место углеродистым компонентам. В этом же направлении, т. е. в направлении увеличения значений *v*, действует введение легирующих добавок в состав металлосодержащих композиций и пропитывающих веществ в щеточные материалы II, III и IV классов. За счет соответствующего подбора последних значения *v* удается существенно повысить, доведя их до 80—90 м/с, а в отдельных случаях и еще выше.

1.6.12. Закономерность изменения коммутирующей способности щеточных материалов, количественно оцениваемой значением индекса ком-

мутации N, представлена на верхней кривой рис. 1.14. Здесь в качестве базы, относительно которой исчисляются значения N, принята электрографитированная композиция, основным компонентом которой является графит. Для нее $N=1,0$. По мере замещения графита техническим углеродом в составе композиций значения N последовательно возрастают, достигая для чисто сажевых композиций значений 3,0—3,5. Еще больших значений достигает величина N у щеточных материалов группы III В, но из-за ограничений, накладываемых на эти материалы по другим показателям (J, v), их применение возможно только на машинах определенного класса (коллекторные двигатели переменного тока малой мощности).

По мере замещения графита медью в составе щеточной композиции значения N снижаются, составляя тем меньшую часть единицы, чем больше меди вводится в композицию.

Описанная здесь общая закономерность изменения коммутирующих свойств щеточных материалов широко используется технологами щеточного производства, разрабатывающими материалы для щеток, и специалистами, осуществляющими подбор щеток для различных случаев их применения.

1.7. Щеточные материалы, изготавливаемые промышленностью социалистических стран

1.7.1. Вследствие чрезвычайной значимости щеточной продукции для современной техники производство ее организовано во многих индустриально развитых странах мира. В настоящем разделе приводится информация о щеточных материалах, изготавливаемых промышленностью ряда социалистических стран. Приводимая информация основана на действующей в каждой из стран нормативно-технической документации (стандарты, технические условия, каталоги и т. п.), содержащей перечисление выпускаемых в данной стране марок щеточных материалов и значения технических параметров. Эти значения приписываются и готовым щеткам. На последних ставится марка того материала, из которого они изготовлены.

1.7.2. Среди социалистических стран первое место как по номенклатуре выпускаемой щеточной продукции, так и по масштабам ее производства, принадлежит Советскому Союзу. Начало организации этого производства в России относится к 1878 г., и в настоящее время оно изготавливает обширный ассортимент щеточных материалов, удовлетворяющий потребности всех отраслей народного хозяйства страны.

Номенклатура и свойства выпускаемой щеточной продукции определяются нормативно-технической документацией, т. е. стандартами и различными техническими условиями. Основной из этих документов — ГОСТ 2332-75 распространяется на материалы, предназначенные для изготовления щеток электрооборудования общепромышленного назначения. Свойства материалов, из которых изготавливаются щетки электрооборудования узкоспециализированного назначения (автотракторного, транспортного и др.), нормируются ГОСТ 12919-79 и техническими условиями. Главнейшие сведения из названных документов приведены в табл. 1.5 и 1.6.

При рассмотрении приведенных таблиц можно обнаружить случаи, когда одна и та же марка щеточного материала фигурирует в двух нормативных документах. Подобная ситуация возникает, когда щетки какой-либо широко распространенной марки по ГОСТ 2332-75 находят

Таблица 1.5 **Параметры щеточных материалов, изготавливаемых промышленностью СССР по ГОСТ 2332-75**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость[1], м/с	Удельное нажатие[1], кПа	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Твердость[2], 10^7 Па	Переходное падение напряжения на пару щеток[1], В	Коэффициент трения не более	Износ не более, мм
			Материалы угольно-графитного класса					
Г21	5	30	15—100	150—420	20—60	4,3	0,22	—
Г22	10	30	40	100—230	17—55	2,5	0,25	0,30
			Материалы графитного класса					
Г3	12	60	20—25	8—20	7—19	1,9	0,30	0,50
Г20	15	40	50	35—100	—	2,9	0,22	0,15
			Материалы электрографитированного класса					
ЭГ2А	12	50	20—25	11—28	7—22	2,7	0,23	0,40
ЭГ2АФ	15	90	15—21	12—35	5—22	2,2	0,23	0,40
ЭГ4	12	60	15—20	6—16	2—7	2,0	0,25	0,60
ЭГ8	11	45	20—40	35—50	8—35	2,5	0,25	0,40
ЭГ14	12	45	20—40	20—38	8—30	2,5	0,25	0,40
ЭГ51	13	60	20—25	20—40	17—55	2,2	0,22	0,40
ЭГ61	13	60	35—50	24—46	—	3,0	0,17	0,40
ЭГ71	12	45	20—25	20—35	6—14	2,2	0,30	0,40
ЭГ74	15	50	17—25	35—75	15—50	2,7	0,22	0,40
ЭГ74АФ	15	60	15—21	19—38	20—50	2,3	0,22	0,40
ЭГ85	15	50	17—35	35—75	17—50	2,3	0,20	0,40
			Материалы металло-графитного класса					
М1	25	33	15—20	2—5	8—25	2,0	0,25	0,18
М3	15	45	15—20	6—12	7—18	1,9	0,25	0,15
М6	24	35	15—20	1—6	10—25	1,8	0,20	0,35
М20	15	45	15—20	3—13	8—25	1,6	0,26	0,20
МГ	30	30	18—23	0,04—0,12	4—14	0,4	0,20	0,80
МГ2	28	30	18—23	0,10—0,25	4—18	0,7	0,20	0,40
МГ4	24	30	20—25	0,30—1,30	10—22	1,2	0,20	0,30
МГСО	30	30	18—23	2—15	6—15	0,3	0,22	0,40
МГС5	24	35	20—25	$<0,30$	6—20	2,0	0,25	0,60
611М	12	40	20—25	8—22	5—12	2,0	0,30	0,40
61 ОМ	15	90	12—22	8—22	5—12	2,0	0,30	0,40

[1] Значения рекомендуемые
[2] Числа округлены

Таблица 1.6 **Параметры щеточных материалов, изготавливаемых промышленностью СССР по ГОСТ 12919-79, ГОСТ 23420-79 и техническим условиям**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Твердость, 10^7 Па	Переходное падение напряжения, В	Коэффициент трения не более	Износ за 20 ч, мм, не более	Нормативный документ
				Материалы угольно-графитного класса					
Г30	10	35	18—25	170—320	—	До 3,0	0,25	—	ТУ16.538.211-73
Г33	5,5	36	29—54	150—450	18—63	3,5—6,0	0,25	—	ТУ16.538.319-78
				Материалы графитного класса					
Г4	5	30	20—50	10—25	—	До 2,0	0,30	—	ФЭ0.359.378-81
Г26	10	35	18—25	80—150	—	До 2,0	0,26	—	ТУ16.538.211-73
				Материалы электрографитированного класса					
ЭГ4Э	12	15	15—20	6—16	—	1,9—2,8	0,20	—	ТУ16.538.004-79
ЭГ13	—	—	—	20—38	8—29*	1,2—2,3	0,22	0,40	ГОСТ 12919-79
ЭГ13П	—	—	—	20—38	8—29*	1,2—2,3	0,22	0,35	То же
ЭГ17	2	15	20—30	10—15	—	2,6	0,23	—	ГОСТ 23420-79
ЭГ50	5,5	19	15	19—39	—	—	—	—	ТУ16.538.021-77
ЭГ51А	—	—	—	18—38	20—54*	0,8—1,9	0,22	0,38	ГОСТ 12919-79
ЭГ61А	19,5	60	24—34	36—60	20—64*	1,7—3,2	0,15	0,30	ТУ16.538.312-77
ЭГ62	10	50	30—50	20—70	—	1,2—3,0	0,17	—	ТУ16.538.222-74
ЭГ63	56	57	86	11—24	4—16*	1,7—2,7	0,25	0,30	ТУ16.538.005-78

Продолжение табл. 1.6

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Твердость, 10^7 Па	Переходное падение напряжения, В	Коэффициент трения не более	Износ за 20 ч, мм, не более	Нормативный документ
ЭГ74К	12	60	17—27	35—75	—	1,3—2,5	0,22	—	ТУ16.538.302-80
ЭГ75	13	60	30—50	35—65	—	1,5—3,2	0,17	—	ТУ16.538.266-75
ЭГ84	17	19	23—39	35—85	—	1,5—3,5	0,19	0,40	ТУ16.538·218-74
ЭГ84-1	17	20	22—38	35—75	—	1,5—3,7	0,17	0,30	ТУФЭО.359.355-78
ЭГ86	12	12	—	До 35	До 35	До 2,0	0,25	0,45	ТУ16.538.318-77
Материалы металло-графитного класса									
М1А	—	—	—	2—6	8—25*	1,0—2,0**	0,22**	0,18**	ГОСТ 12919-79
МГ4С	—	—	—	0,4—3,0	—	0,6—1,6**	0,20**	0,30**	ТУ16.538.063-76
МГС9А	—	—	—	До 10	13—38*	До 2,0	0,25	0,40	ГОСТ 12919-79
МГС20	—	—	—	0,1—0,4	6—25*	0,3—1,0**	0,25**	0,60**	То же
МГС21	16	—	30—60	0,06—0,25	—	До 0,5**	0,25**	0,80**	ТУ16.538.375-81
МГС51	—	—	—	4—15	6—20*	1,2—2,5**	0,22**	0,35**	ГОСТ 12919-79
МГСОА	—	—	—	0,1—0,3	14—44*	0,1—0,5**	0,24**	0,55**	То же
МГСО1	—	—	—	0,3—0,75	6—20*	0,1—0,5*	0,25**	0,60**	»
96-0	—	—	—	1,0—6,2	13—26*	0,7—1,5	0,17	—	»

* Числа округлены

** Коллекторные параметры определены методами, отличными от стандартных. Износ, мм/50 ч

применение на электрооборудовании узкоспециализированной области, требующей изменения значений их отдельных параметров.

При рассмотрении последних двух таблиц не следует упускать из вида и того, описанного в § 1.4, обстоятельства, что коллекторные параметры различных щеточных материалов определяются на установках двух типов при различных условиях (см. табл. 1.3). На установках типа КЗК-280 проходят испытания образцы материалов металло-графитного класса. Образцы материалов других классов в подавляющей своей части проходят испытания на установках типа КЗК-95. Все это следует учитывать, сопоставляя приведенные в табл. 1.5 и 1.6 числа.

1.7.3. Еще одним крупным изготовителем щеток в группе социалистических стран является народное предприятие Германской Демократической Республики «Электроколе Лихтенберг». Оно сформировалось в первые послевоенные годы на базе одного из старейших электроугольных заводов Западной Европы, основанного в 1900 г. После проведенной в середине семидесятых годов реконструкции предприятие выпускает обширный ассортимент щеточных материалов, номенклатура и параметры которых приведены в табл. 1.7.

1.7.4. Производство щеток в Польской Народной Республике осуществляется на нескольких предприятиях, наиболее значительным из которых является завод «Электрокарбон» (Elektrocarbon) в г. Тарновские горы. Сведения о продукции, изготавливаемой щеточными предприятиями ПНР, содержатся в табл. 1.8.

Таблица 1.7 **Параметры щеточных материалов предприятия „Электроколе Лихтенберг“, ГДР [1.5]**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное электрическое сопротивление[1], мкОм·м	Удельное нажатие, кПа	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения
			Материалы угольного класса			
К4	7	20	39	20—40	1,6—3,0	0,3—0,5
К5	7	20	39	20—40	1,6—3,0	0,3—0,5
К6	8	20	34	20—40	1,6—3,0	>0,5
К7	6	20	400	20—40	>4,0	>0,5
К8	7	20	28	20—40	1,6—3,0	0,3—0,5
К9	8	20	45	20—40	1,6—3,0	>0,5
			Материалы графитного класса			
G4	8	30	150	20	>4,0	<0,1
G7	8	40	70	16—18	3,0—4,0	0,2—0,4
G8	7	40	170	20	>4,0	>0,5
G9	8	50	50	16—18	1,6—3,0	0,2—0,4
G13	30	15	20	35—50	0,8—1,6	<0,1
G18	12	30	250	20	>4,0	0,2—0,4
G19	8	70	17	16—18	3,04—4,0	0,4—0,6

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное электрическое сопротивление[1], мкОм·м	Удельное нажатие, кПа	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения
		Материалы электрографитированного класса				
E3	12	80	17	18—20	1,6—3,0	0,2—0,3
E5	10	40	27	20	1,6	0,1—0,2
E8	10	50	45	20	1,6—3,0	0,2—0,3
E9	10	50	42	35—50	1,6—3,0	0,2—0,3
E10	12	50	28	20	1,6—3,0	0,3—0,5
E11	10	40	28	35—50	1,6—3,0	0,1—0,2
E13	10	50	50	20	1,6—3,0	0,2—0,3
E14	10	50	57	20	1,6—3,0	0,2—0,3
E15	10	50	40	20	1,6—3,0	0,2—0,3
E16	12	40	32	35—50	1,6—3,0	0,2—0,3
E18	10	40	33	20	1,6—3,0	0,1—0,2
E21	10	50	65	20	1,6—3,0	0,1—0,2
E23	10	50	62	35—50	1,6—3,0	0,1—0,2
E24	10	50	57	20	3,0—4,0	0,2—0,3
E25	10	50	45	20	1,6—3,0	0,2—0,3
E26	10	50	63	20	3,0—4,0	0,2—0,3
E29	12	50	21	20	1,6—3,0	0,1—0,2
		Материалы металло-графитного класса				
M6	18	40	0,075	20—25	<0,1	0,1—0,2
M7	18	40	0,075	20—25	<0,1	0,1—0,2
M9	20	40	0,09	20—25	<0,1	0,1—0,2
M10	20	40	0,18	20	<0,1	0,1—0,2
M11	25	20	0,08	20	<0,1	0,1—0,2
M15	—	15	0,1	40—70	<0,1	0,1—0,2
M17	—	15	1,7	40—70	1,6—3,0	0,1—0,2
M18	—	15	2,5	40—70	1,6—3,0	0,1—0,2
M21	12	40	11,0	20	1,6—3,0	0,1—0,2
M27	12	40	7,0	20—25	1,6—3,0	0,1—0,2
M31	16	40	0,14	20—25	1,6—3,0	0,1—0,2
M32	14	40	0,45	20—25	0,8—1,6	0,1—0,2

[1] Приведены средние значения. Подробнее см. в п. 1.8.5.

1.7.5. Щеточное производство Чехословацкой Социалистической Республики сосредоточено на заводе, находящемся в г. Топольчаны. Ассортимент изготавливаемой здесь продукции и ее технические параметры описаны в табл. 1.9. Приведенные в таблице значения коллекторных

Таблица 1.8. Параметры щеточных материалов, изготавливаемых промышленностью ПНР [1.6]

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Твердость по Шору	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения не более	Износ за 50 ч, мм, не более
Материалы угольно-графитного класса								
W25	8	25	22	25—40	25—45	1,4—2,2	0,25	0,20
W50	7	25	22	50—70	40—55	1,8—2,3	0,25	0,20
Материалы графитного класса								
G12	11	25	22	9—15	15—30	1,7—2,1	0,23	0,15
G20	11	25	22	15—24	18—32	1,8—2,2	0,23	0,15
G100	6	25	22	90—130	10—20	2,5—3,8	0,25	0,15
G200	5	30	22	150—250	5—15	4,4—5,5	0,20	0,14
Материалы электрографитированного класса								
E13	12	40	22	10—16	17—31	1,7—2,7	0,23	0,20
E17	10	25	20	14—21	22—38	2,4—3,0	0,20	0,15
E22	10	25	22	15—28	25—43	2,6—3,2	0,22	0,13
E28	10	40	22	21—34	40—57	2,6—3,4	0,20	0,14
E30	10	40	22	26—40	35—57	2,4—3,0	0,23	0,14
E35	10	40	22	30—46	40—55	2,2—2,9	0,24	0,13
E50	10	50	22	45—60	35—60	2,5—3,5	0,25	0,10
E53	10	50	22	45—70	35—60	2,5—3,5	0,25	0,15
Материалы металло-графитного класса								
M25	15	20	20	4,5—10	10—25	1,7—2,1	0,25	0,20
M30	24	—	20	4,5—11	10—21	1,6—2,5	0,25	0,30
M40	24	—	20	2—6	10—23	1,2—2,1	0,20	0,30
M47	15	15	20	1,6—5,0	15—25	1,0—1,8	0,25	0,25
M48	15	25	20	1,4—3,8	14—30	1,2—2,0	0,23	0,20
M50	15	25	20	2,1—5,3	15—28	1,3—1,9	0,23	0,15
M68	18	20	20	0,04—1,4	12—25	0,8—1,4	0,24	0,30
M70	18	20	20—25	1,0—4,0	13—28	1,2±0,3	0,25	—
M78	20	20	20	0,04—0,09	10—18	0,20—0,28	0,20	0,3
M83	20	20	18	0,06—0,18	10—21	0,25—0,40	0,23	0,40
M87	20	20	18	0,04—0,09	5—12	0,20—0,40	0,20	0,50

Таблица 1.9. **Параметры щеточных материалов предприятия „Электрокарбон“, ЧССР [1.7]**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Твердость по Бринеллю	Плотность ¹, 10^{-3} кг/м³	Переходное падение напряжения на пару щеток, В, не более	Коэффициент трения не более	Износ за 50 ч, мм, не более
				Материалы угольно-графитного класса					
T1	6	15	17—20	40—60	55—75*	1,40	3,0	0,30	—
T3	6	15	17—20	40—70	57—70*	1,50	3,0	0,30	—
TA45	8	15	35	35—55	22—55	—	—	—	—
G3	6	50	17—20	70—130	7—13	1,6—1,8	4,0	0,30	0,25
				Материалы графитного класса					
D1	8	50	12—16	8—10	14—16*	1,80	2,0	0,15	—
D3	10	40	12—16	17—33	5—14	1,50—1,70	3,5	0,20	0,50
D5	10	40	12—16	15—30	6—12	1,50	3,8	0,20	—
D10	10	30	12—16	12—35	25—35*	1,80	2,0	0,30	—
RGE	8	75	20—25	16—31	3—6	1,43—1,53	3,8	0,25	0,60
				Материалы электрографитированного класса					
EK24	10	40	18	14—25	16—25	1,55—1,70	2,9	0,25	0,10
EK38	10	30	20	25—40	40—85	1,65—1,76	3,5	0,20	0,10
EK54	10	40	18	50—70	25—45	1,50—1,65	3,5	0,20	0,20
EK58	10	35	18	36—62	28—60	1,64—1,75	3,6	0,20	0,20
EK62	10	30	18	60—95	7—18	1,43—1,55	3,8	0,20	0,25
EK63	10	40	18	40—60	25—40	1,65—1,75	3,6	0,20	0,20
EK67	11	50	18—30	42—58	28—46	1,55—1,70	3,5	0,20	0,20
EK68	10	50	35	50—68	26—42	—	3,7	—	—
EK69	10	45	35	40—55	35—55	—	3,7	—	—
				Материалы металло-графитного класса					
K11	18	20	20—25	0,07—0,17	8—14	4,95—5,15	0,5	0,20	0,50
K31	15	25	20—25	0,12—0,20	7—15	4,45—4,55	1,1	0,22	0,20
K32	16	25	20—25	0,13—0,28	5—10	4,15—4,35	1,3	0,25	0,25
K43	13	30	20—25	0,20—1,20	8—13	3,50—3,70	1,3	0,25	0,20
K65	15	35	20—25	2—8	6—11	2,50—2,75	2,1	0,25	0,15
K75	12	30	18—23	0,50—1,35	8—13	3,10—3,30	1,4	0,20	0,30
K82	15	25	15—25	1,6—6,4	12—22	2,65—2,85	2,2	0,25	0,20
O67	16	30	18—23	0,50—1,35	8—13	—	1,9	—	—
M8	20	15	20—25	0,05—0,16	—	—	0,5	0,25	—
M10	20	15	20—25	0,10—0,22	6—12	5,10	0,6	0,25	—
M12	20	20	20—25	0,30—0,50	15—20*	4,80	1,2	0,25	—
M15	20	20	20—25	0,40—0,70	15—24*	4,80	1,2	0,25	—
M18	20	20	20—25	0,30—0,50	18—25*	4,50	1,2	0,25	—
M20	15	20	20—25	0,30—0,65	18—24*	4,25	1,3	0,25	—
M25	15	25	20—25	0,60—1,30	19—25*	3,95	1,5	0,20	—
M30	15	25	20—25	0,35—1,40	9—15	3,70	1,3	0,20	—
M35	12	35	20—25	1,00—3,00	7,5—11,5	3,45	2,0	0,20	—
M45	12	30	20—25	1,4—8,5	15—26	—	3,8	—	—
AG93	27	20	20—25	0,03—0,10	—	—	0,3	—	—

* Твердость по Шору

¹ Приведены средние значения. Подробнее см. в п. 1.8.5.

параметров определены при четырех режимах работы коллекторных установок. Режимы различаются между собой сочетанием окружных скоростей коллекторов и удельных нажатий на щетки. Значения первых лежат в пределах 15—60 м/с, а вторых — 20—30 кПа.

1.8. Щеточные материалы, изготавливаемые крупнейшими фирмами Великобритании, Франции, США и ФРГ

1.8.1. Крупнейшим поставщикам щеточной продукции на Британских островах является фирма «Морганайт». Ассортимент этой продукции по данным каталогов последних лет включает материалы, перечисленные в табл. 1.10. Приведенные в ней значения коллекторных парамет-

Таблица 1.10. **Параметры щеточных материалов, изготавливаемых предприятиями фирмы „Морганайт", Великобритания [1.8]**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление¹, мкОм·м	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения
Материалы угольного класса с низким удельным электрическим сопротивлением						
A	7	20	14	38	1,4—2,4	>0,20
A2Y	7	20	14	—	1,4—2,4	0,15—0,20
B	8,5	20	14	31	1,4—2,4	>0,20
C4	6,5	20	14	58	1,4—2,4	>0,20
C4R	6,5	—	—	—	—	—
H100	8,5	30	21	—	1,4—2,4	<0,10
Материалы серии PM с высоким удельным электрическим сопротивлением						
PM60	4,5	20	21	560	2,4—3,6	>0,20
PM70	4,0	20	21	760	2,4—3,6	>0,20
Материалы графитного класса серий HM и IM						
HM2	10	50	14	17	1,4—2,4	0,10—0,15
HM6R	10	60	14	22	1,4—2,4	0,10—0,15
HM100	10	60	14	—	1,4—2,4	0,15—0,20
IM3	6,5	30	21	140	1,4—2,4	≤0,10
IM6	2,5	30	21	760	>3,6	≤0,10
IM19	6/10	30	21	—	>3,6	≤0,10
IM109	6/10	30	21	—	>3,6	≤0,10
IM9101	8/10	30	21	100	2,4—3,6	≤0,10

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление[1], мкОм·м	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения
Материалы электрографитированного класса						
EG0	10/12	20	18	18	1,4—2,4	0,10—0,15
EG0R	11,5	50	18	—	1,4—2,4	0,10—0,15
EG3	8,5	20	20—50	33	1,4—2,4	0,10—0,15
EG12	10	50	18	28	1,4—2,4	0,15—0,20
EG14	9,5	50	21	46	1,4—2,4	0,10—0,15
EG14D	10	30	21	48	1,4—2,4	<0,10
EG16K	11	60	18	—	1,4—2,4	0,10—0,15
EG16S	11	60	21	—	1,4—2,4	0,10—0,15
EG17	10	50	21	50	1,4—2,4	0,10—0,15
EG95	9,5	50	21	—	1,4—2,4	0,10—0,15
EG109	10	50	20—50	—	2,4—3,6	0,10—0,15
EG111	11	50	18	—	1,4—2,4	<0,10
EG114	9,5	60	18	—	1,4—2,4	<0,10
EG116	11	50	21	—	2,4—3,6	<0,10
EG133	10	50	18	—	1,4—2,4	0,15—0,20
EG206	10/12	50	21	—	1,4—2,4	<0,10
EG224	9,5	50	21	—	1,4—2,4	0,10—0,15
EG236	11	60	18	—	2,4—3,6	0,10—0,15
EG236S	11	50	21	—	2,4—3,6	0,10—0,15
EG251	9,5	50	21	—	2,4—3,6	<0,10
EG260	10	30	21	—	1,4—2,4	0,10—0,15
EG6345	9,5	30	18	—	1,4—2,4	0,10—0,15
EG6749	9,5	50	18	39	1,4—2,4	0,10—0,15
EG6749N	9,5	50	21	—	2,4—3,6	0,10—0,15
EG8101	8,5	30	21	50	2,4—3,6	<0,10
Материалы металло-графитного класса						
CM	23	20	14	0,18	<0,4	0,15—0,20
CMO	17	20	14	0,13	<0,4	0,15—0,20
CMIS	16/23	30	14	0,30	<0,4	0,15—0,20
CM3H	12/16	30	21	0,25	<0,4	0,10—0,15
CM5H	12/14	30	21	0,50	0,8—1,4	<0,10
CM5B	12/14	30	21	2,50	0,8—1,4	<0,10
CM9	12	30	14	4,0	1,4—2,4	<0,10

[1] Приведены средние значения. Подробнее см. в п. 1.8.5.

Примечание. В случае, когда число представлено в виде дроби, в числителе указано допустимое значение при эксплуатации на коллекторах, а в знаменателе — на контактных кольцах.

ров фирма получает, пользуясь 15 режимами работы испытательных установок. Режимы отличаются друг от друга различным сочетанием окружных скоростей от 10 до 30 м/с с плотностями тока от 1,5 до 8,5 А/см^2 и нажатием на образцы испытуемых материалов от 14 до 21 кПа.

1.8.2. На мировом рынке щеточной продукции Франция представлена фирмой «Ле Карбон Лоррен». В настоящее время фирма «Ле Карбон Лоррен» изготавливает значительный ассортимент щеточных материалов, сведения о которых приведены в табл. 1.11.

1.8.3. Крупнейшими изготовителями щеток в Соединенных Штатах Америки являются предприятия фирмы «Юнион Карбайд». Названная фирма является одной из крупнейших национальных компаний США. Номенклатура щеточной продукции, изготавливаемой ее предприятиями представлена в табл. 1.12.

1.8.4. Крупным изготовителем щеточной продукции в ФРГ является фирма «Рингсдорф». В изданиях каталогов последних лет фирма несколько изменила обозначения выпускаемых ею марок щеточных материалов, и поставляемый ею в настоящее время ассортимент этих материалов показан в табл. 1.13.

Таблица 1.11. **Параметры щеточных материалов, изготавливаемых предприятиями фирмы „Ле Карбон-Лоррен", Франция [1.9]**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см^2	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное электросопротивление [1], мкОм·м	Твердость по Шору [1]	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения	Содержание металла, %
Материалы угольно-графитного класса							
Д450	8	20	35	40	2,3—3,0	>0,20	—
ДН	8	20	40	60	2,3—3,0	>0,20	—
Материалы графитного класса							
LFC2	10	45	20	<15	1,4—2,3	0,12—0,20	—
LFC4	10	35	20	25	2,3—3,0	0,12—0,20	—
LFC557	10	—	135	18	2,3—3,0	0,12—0,20	—
BG28*	12	35	100	22	2,3—3,0	0,12—0,20	—
BG62*	10	35	80	25	2,3—3,0	0,12—0,20	—
BG412*	12	35	100	25	>3,0	0,12—0,20	—
BC469*	12	35	100	30	>3,0	0,12—0,20	—
BC530*	8	40	250	25	>3,3	0,12—0,20	—

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное электросопротивление [1], мкОм·м	Твердость по Шору [1]	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения	Содержание металла, %
Материалы электрографитированного класса							
EG34Д	12	50	11	35	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG389	12	45	17	30	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG40Д	12	50	30	60	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG63	10	25	38	60	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG309	12	50	44	45	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG98P	12	50	37	60	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG367	12	50	44	58	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG98B	12	50	36	70	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG300	12	50	40	60	2,3—3,0	—	—
EG316	12	50	48	50	2,3—2,0	0,12—0,20	—
EG319	12	—	75	45	>3,0	0,12—0,20	—
EG332	12	50	50	55	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG7097	12	45	41	70	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG7098	12	45	49	70	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EG8067	12	45	49	70	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EC337	12	45	49	70	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EC7099	12	45	12	46	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EC6754	12	45	40	86	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EC6160	12	45	49	77	2,3—3,0	0,12—0,20	—
EC6183	12	45	12,5	52	2,3—3,0	0,12—0,20	—
Материалы металло-графитного класса							
CG33	12	40	5	25	<1,4	<0,12	30
CG50	12	30	0,5	20	<1,4	<0,12	50
CG651	14	30	1,75	25	<1,4	<0,12	49
CG65	15	25	0,18	18	<1,4	<0,12	65
CG65/35	15	25	0,40	17	<1,4	<0,12	67
CG653	16	25	0,40	17	<1,4	<0,12	67
CG75	16	25	0,12	15	<1,4	<0,20	77
OMC	30	20	0,08	10	<1,4	<0,12	90
MC9P	30	20	0,08	20	<1,4	<0,20	81
MC94	20	20	0,85	18	<1,4	<0,20	75
MC12	30	20	0,40	15	<1,4	<0,20	91
M609	15	35	4,5	35	<1,4	<0,12	42
M685	15	35	3,75	30	<1,4	<0,12	46
M673	12	40	13	38	1,4—2,3	0,12—0,20	7
LEC3	12	45	10	18	1,4—2,3	<0,12	20

[1] Приведены средние значения. Подробнее см. п.1.8.5.

* В качестве связующего вещества применен бакелитовый лак.

Таблица 1.12. **Параметры щеточных материалов, изготавливаемых предприятиями фирмы „Юнион Карбайд", США [1.10]**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость м/с	Удельное нажатие, КПа	Удельное электрическое сопротивление¹, мкОм·м	Твердость по Шору¹	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения
			Материалы угольно-графитного класса				
306*	5	18	12—17	38	47	0,8—1,3	0,22—0,30
3061*	5	18	12—17	38	47	0,8—1,3	0,22—0,30
400	4,5	18	12—17	50	77	1,9—2,5	<0,22
401	6,5	18	12—17**	40	54	1,3—1,9	0,22—0,30
402	7	20	12—17**	38	50	1,3—1,9	0,22—0,30
405*	5	20	12—17	66	85	1,3—1,9	>0,30
441*	6	15	28—40	48	87	1,3—1,9	0,22—0,30
442*	6	18	28—40	36	80	1,3—1,9	0,22—0,30
E*	5	20	12—17	48	62	1,3—1,9	0,22—0,30
808*	5	18	12—17	40	42	0,8—1,3	>0,30
810*	7	20	12—17	30	39	0,8—1,3	>0,30
850	7	18	12—17**	33	45	0,8—1,3	0,22—0,30
888	8	23	12—17	36	65	1,3—1,9	0,22—0,30
M3	8	23	12—17**	33	45	0,8—1,3	0,22—0,30
			Материалы графитного класса				
PH	5	30	9—14	100	43	>2,5	<0,22
619	9	30	9—14	14	20	0,8—1,3	>0,30
623	10	30	9—14	13	22	0,8—1,3	>0,30
634	8	75	9—14	25	16	0,8—1,3	0,22—0,30
676N	8,5	30	10—17	50	10	>2,5	<0,22
R64	8	75	9—14	28	10	1,9—2,5	<0,22
9613	8	33	20—28	43	11	>2,5	<0,22
HRG	8	33	20—28	50	8	>2,5	<0,22
			Материалы электрографитированного класса				
234/30	9,5	30	14—20	50	48	1,9—2,5	<0,22
255/25	8,5	28	14—20	48	65	1,3—1,9	<0,22
258	6,5/11,5	28	12—17	18	40	1,3—1,9	<0,22
259/35	9,5	30	10—17	43	52	1,9—2,5	<0,22
9234R (25)	11,5	35	—	50	52	1,9—2,5	<0,22
AX5 (35)	11,0/12,5	35	—	50	54	1,9—2,5	<0,22
AY	9,5/11,5	20	14—20	10	33	1,3—1,9	0,22—0,30
BU (35)	11,5	35	14—20	50	52	1,9—2,5	<0,22
N1	11,5	40	14—20	25	55	0,8—1,3	<0,22
N4	13	40	14—20	62	58	1,9—2,5	<0,22
SA25	10	30	14—20	48	62	1,3—1,9	<0,22
SA35	11,5	35	14—20	55	51	1,9—2,5	<0,22
SA3513	11	33	14—20	55	58	1,9—2,5	<0,22
SA3532	11	35	14—20	60	62	1,9—2,5	0,22—0,30
SA3538	11,5	35	14—20	53	51	1,9—2,5	<0,22

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление¹, мкОм·м	Твердость по Шору¹	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения
SA40	12,5	38	14—20	60	53	1,9—2,5	<0,22
SA45	14	40	14—20	65	45	1,9—2,5	<0,22
SA4513	12,5	38	14—20	65	53	1,9—2,5	<0,22
S44548	13	40	14—20	60	45	1,9—2,5	0,22—0,30
SA50	14	43	14—20	65	43	1,9—2,5	<0,22
TA35	11	35	20—34**	55	58	1,9—2,5	<0,22
TA45	12,5	40	20—34**	65	51	1,9—2,5	<0,22
Материалы металло-графитного класса							
543*	23	20	17—24	0,08	4	<0,2	0,22—0,30
549	13	30	12—17	4	21	0,7—1,0	<0,22
559	13	20	12—17	5	20	0,2—0,7	<0,22
840K*	—	18	12—17	4	40	0,7—1,0	0,22—0,30
ALA	19	30	17—240	0,25	6	0,2—0,7	<0,22
АУК	14	18	20—34	3	31	0,7—1,0	0,22—0,30
BCX	23	20	17—24	0,02	13	<0,2	0,22—0,30
29***	16	30	17—24	0,46	16	0,2—0,7	<0,22
2913***	16	30	17—24	0,46	18	0,2—0,7	<0,22
39***	19	30	17—24	0,25	12	0,2—0,7	<0,22
3913***	19	30	17—24	0,25	14	0,2—0,7	<0,22
151***	19	20	17—24	0,08	11	<0,2	0,22—0,30
157***	23	20	17—24	0,05	12	<0,2	0,22—0,30
EL*	23	20	17—24	0,2	14	<0,2	0,22—0,30

* При применении щеток данной марки продороживание коллекторов не требуется

** При использовании на электрооборудовании транспортных средств значение нажатия повышается до 34—48 кПа

*** Перед указанными цифровыми обозначениями на изделиях ставится слово „Cophite"

¹ Приведены средние значения. Подробнее см. в п. 1.8.5.

1.8.5. При рассмотрении приведенных в табл. 1.7—1.13 значений некоторых параметров щеточных материалов обращают на себя внимание те случаи, когда эти параметры представлены однозначно. Указанное обстоятельство обусловлено практикуемой за рубежом системой построения фирменных каталогов, в которые не включаются сведения о разбросе этих значений. Представление об их фактическом разбросе можно составить на основании информации, изложенной в § 1.5.

Таблица 1.13. **Параметры щеточных материалов, изготавливаемых предприятиями фирмы „Рингсдорф“, ФРГ [1.11]**

Марка	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное нажатие, кПа	Удельное электрическое сопротивление [1] мкОм·м	Твердость по Шору [1]	Переходное падение напряжения на пару щеток, [2]	Коэффициент трения [2]
Материалы угольно-графитного класса							
RH94	5	20	20	500	75	2,2	0,38
RK43	8	30	22	500	60	5,1	0,13
RK86	8	30	30	200	80	4,4	0,08
RX21	7	35	50	110	30	3,5	0,10
RX65	7	35	55	200	50	4,2	0,11
RX88	10	35	30	180	25	4,0	0,12
RX98	10	35	35	180	35	3,7	0,10
RX99	10	35	32	220	40	4,2	0,12
Материалы графитного класса							
RG10	8	40	18	20	20	—	—
Материалы электрографитированного класса							
RE12	12	50	19	43	45	2,5	0,11
RE18	10	45	27	30	70	2,4	0,10
RE19N1	10	45	40	28	80	2,5	0,10
RE28	12	45	20	45	60	2,4	0,13
RE50	8	—	6	9	12	4,0	—
RE53	12	45	23	40	45	2,7	0,12
RE54	10	40	25	19	45	2,4	0,09
RE59	12	45	22	50	75	2,6	0,08
RE59N1	12	45	24	50	80	2,7	0,07
RE59W	12	50	19	52	70	3,0	0,10
RE91	12	50	17	30	35	2,6	0,12
RE92	12	50	10	14	30	2,4	0,10
RE98	12	60	15	66	30	2,7	0,10
Материалы металло-графитного класса [3]							
RC50	12	35	34	2	60	1,17	0,12
RC62	13	30	34	0,9	60	1,17	0,13
RC66	14	30	32	0,6	55	1,00	0,12
RC73	15	30	40	0,3	55	0,61	0,13
RC74	15	30	32	0,4	60	0,90	0,09
RC84	18	25	28	0,1	30	0,30	0,07
RC87	20	25	45	0,1	35	0,30	0,07
RC90	22	25	38	0,08	20	0,60	0,14
RC95	25	20	100	0,1	45	0,50	0,13
RS50	—	20	22	2	30	—	0,17
RS70	—	20	25	0,7	50	—	0,33
RS90	—	20	50	0,1	50	—	0,33

[1] Приведены средние значения. Подробнее см. в п. 1.8.5.
[2] Значения приведенных параметров определены по кривым $2\Delta U = \varphi_1(j)$ и $\mu = \varphi_2(v)$ каталога фирмы „Рингсдорф“. Они характеризуют средние значения.
[3] Твердость по Бринеллю

Таблица 1.14. ***Сопоставление щеточных материалов общепромышленного назначения, изготавливаемых промышленностью различных стран***

Классификационный индекс (табл. 1.1)	ПО „Электроугли", СССР	„Электроколе Лихтенберг", ГДР	„Электрокарбон", ПНР	„Электрокарбон", ЧССР	Фирма „Морганайт" Великобритания	Фирма „Ле Карбон Лорен", Франция	Фирма „Юнион Карбайт", США	Фирма „Рингсдорф", ФРГ
Материалы металло-графитного класса								
IA	МГ2, МГ64, МГСО	М6, М11	М87	—	CM1S	—	—	—
IБ	—	—	—	—	—	—	—	—
IB	МГ	M7, M9 M10	M78, M83	K11, M10 M12, M18, M20, M25, M30, M35 M45	CM, CM3H, CM5H	CG75, OMC MC12	—	—
IГ	МГ4	—	M40, M68	K31, K32, K43, K75	CM5,B CM6, CM25	CG50, MC94, CG65/35, CG651	39	RC62, RC66
IД	M1, M3	M17, M21 M27	M25, M30 M47, M50	K82, 067	CM9	CG33, LFC3	АУК	RC50, RS50
IE	611M, 6110M	—	—	—	—	—	—	—
Материалы угольно-графитного класса								
IIA	—	G4, G7	W 25	G3	A, A2Y, B	—	3061, 442 840, 850, 888	—
IIБ	Г22	—	W 50	T1	C2, C4, C4R	D450, DH	400, 401, 402, 441 E	RK43, RK86, RH94

Классификационный индекс (табл. 1.1)	ПО „Электроугли“, СССР	„Электроколе Лихтенберг“ ГДР	„Электрокарбон“, ПНР	„Электрокарбон“, ЧССР	Фирма „Морганайт“, Великобритания	Фирма „Ле Карбон Лорен“, Франция	Фирма „Юнион Карбайт“, США	Фирма „Рингсдорф“ ФРГ
Материалы графитного класса								
IIIА	Г3	—	—	D1, D10, RGE	HM2, HM6R HM100	LF62, LFC4, LFC557	623	—
IIIБ	—	G9	G12, G20	D5	—	—	676N	RG10
IIIВ	Г20	G3, G18	G100, G200	—	PM60, IM3, IM19,	BG28, BG62	PH	—
IIII	—	—	—	—	—	—	—	—
Материалы электрографитированного класса								
IVА	ЭГ4	—	—	—	EGO, EGOR	—	—	RE50, RE91
IVБ	ЭГ2А, ЭГ71	—	E13, E17 E22	EK24, EK63	EG3	—	—	RE92, RE98
IVВ	ЭГ14, ЭГ51, ЭГ74, ЭГ85	E5, E8 E10, E13, E14, E15, E16, E18 E21, E23 E24, E25 E26	E28, E30, E35, E50, E53	EK54, EK58, EK63, EG116, EG236, EG236S, EG251, EG6345, EG8101	EG12, EG14, EG16K, EG16S, EG17, EG95 EG109, EG111, EG114, EG224	EG309, EG98Г, EG316, EG319, EG332	234 (30) 255 (25), 258, 259 BU, N1 N4, SA25, SA35*, SA40, SA45* SA50	RE12, RE18, RE54, RE59

* Сюда же входят все модификации материалов данной марки, обозначения которых содержат четыре значащие цифры, например SA3513, SA3532 и т. п.

1.9. Сопоставление щеточных материалов, изготавливаемых в различных странах

1.9.1. Необходимость в сопоставлении щеток, изготавливаемых в различных странах, возникает в случае выхода из строя щеток на импортных электрических машинах, когда их требуется заменить. Точное решение задачи подбора взаимозаменяющих эквивалентов требует знания состава, технологии производства и некоторых других сведений о щеточных материалах, которые их изготовители, как правило, не публикуют. Для решения сформулированной задачи не могут быть использованы и значения их технических параметров, поскольку главнейшие из них определяются, как отмечалось ранее, различным методам и в несопоставимых условиях. При указанных обстоятельствах задачу подбора взаимозаменяющих эквивалентов приходится решать на основе групповой классификации щеточных материалов, изложенной в § 1.2.

1.9.2. Сопоставление щеточных материалов, выпускаемых в рассмотренных в настоящем справочнике странах и предназначенных для изготовления щеток электрических машин общего назначения, произведено на основе использования их групповой классификации и представлено в табл. 1.14. Дополнительные сведения по данному вопросу, охватывающие более широкий круг изготовителей щеток, можно найти в брошюре [1.12].

1.9.3. Марки щеточных материалов, расположенные в той же строке данного классификационного индекса в табл. 1.14, в первом приближении можно рассматривать в качестве аналогов. В случае, когда на этой строке расположено небольшое количество марок, рассматриваемая задача решается относительно просто. В том же случае, когда на строке таблицы располагается значительное количество марок щеток, для выбора аналога, наиболее пригодного для требуемых условий эксплуатации, следует обратиться к § 2.5 и 2.6, содержащим описание рекомендуемых областей их применения. На основе этого описания и следует произвести окончательный выбор. К материалам § 2.5 и 2.6 следует обращаться и при необходимости произвести подбор аналогов для щеток электрических машин, изготовленных с учетом специфических требований некоторых отраслей народного хозяйства или определенного назначения. Подобные машины принято называть машинами специализированного назначения (СТ. СЭВ 169-75).

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ЩЕТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

2.1. Термины и определения

2.1.1. Термины, используемые для описания щеток, установлены ГОСТ 21888-76. Этот документ соответствует международным терминологическим рекомендациям РС2285-69 СЭВ, МЭК 50-1973 и МЭК 276-1968. В соответствии с перечисленными документами щеткой электрической машины (краткий термин «щетка») называется токопроводящий элемент, непосредственно соприкасающийся с коллектором или контактным кольцом, предназначенный обеспечивать электрическую связь подвижной и неподвижной частей электрической машины. Щетка изготавливается из соответствующим образом переработанных порошковых материалов, ряд сведений о которых изложен в разд. 1. В зависимости от класса, к которому принадлежит использованный щеточный материал, готовую щетку называют графитной, угольно-графитной, графитированной или металло-графитной.

2.1.2. Поверхность щетки, непосредственно соприкасающаяся с поверхностью коллектора или контактного кольца, носит название контактной. Поверхность, противоположная контактной, названа верхней. Кроме верхней поверхности в щетке следует отличать еще ту часть ее объема, которая к этой поверхности примыкает. Эта часть объема названа верхом щетки. Соединив воображаемой линией центры контактной и верхней поверхностей щетки, получают ее ось. Край щетки, под который входит контактная поверхность коллектора или контактного кольца при их вращении, носит название набегающего края. Сбегающим краем щетки электрической машины называется край, из под которого выходит вращающаяся контактная поверхность. Грани щетки, расположенной со стороны ее набегающего края, присвоено наименование передней лицевой. Задняя лицевая грань располагается на противоположной стороне щетки, над ее сбегающим краем. Приведенные наименования и определения относились к четырем граням щетки электрической машины. Пятой ее грани, обращенной к сердечнику якоря, присвоено название внутренней, а противоположная ей шестая грань носит название наружной. Внутренняя и наружная грани щетки объединены общим названием — боковые.

2.1.3. По отношению к вращающемуся элементу электрической машины определены и названия трех главных размеров щетки. Ее размер в направлении касательной к рабочей поверхности коллектора или контактного кольца назван тангенциальным и обозначается t. Размеру в направлении оси вращения коллектора или кольца присвоено наименование аксиального a. Наибольший размер щетки в направлении ее оси получил название радиального r.

2.1.4. Изложенное касалось основной части щетки электрической машины и не затрагивало монтируемых на ней элементов, призванных защищать ее от механических повреждений со стороны пальца щеткодержателя и обеспечить переход в нее или из нее электрического тока

с минимальными потерями. Две последние задачи решаются применением ряда элементов, объединенных общим названием — арматура щетки. Арматуру составляют токоведущие провода (токопроводы), различные накладки, наконечники, изоляционные детали и детали крепления токоведущего провода и накладок к щетке. Расположение перечисленных частей щетки и находящихся на ней элементов показано на рис. 2.1. В подписи под рисунком даны стандартизированные ГОСТ 21888-76

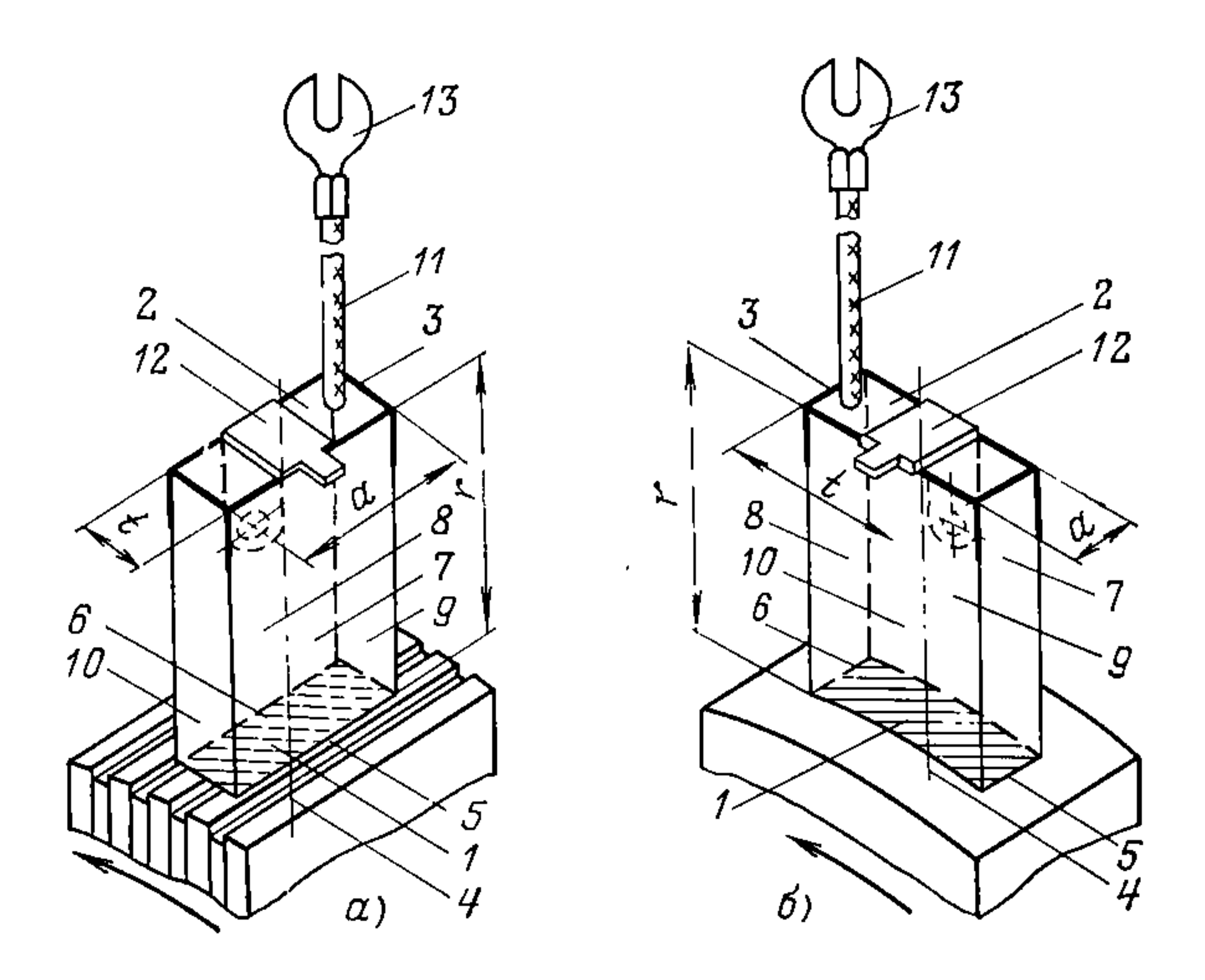


Рис. 2.1. Щетка электрической машины и ее элементы (термины по ГОСТ 21888-76) на коллекторе (*а*), на контактном кольце (*б*):

1 — поверхность щетки электрической машины (ЩЭМ) контактная; *2* — поверхность ЩЭМ верхняя; *3* — верх ЩЭМ; *4* — ось ЩЭМ; *5* — край ЩЭМ набегающий; *6* — край ЩЭМ сбегающий; *7* — грань ЩЭМ лицевая передняя; *8* — грань ЩЭМ лицевая задняя; *9* — грань ЩЭМ внутренняя; *10* — грань ЩЭМ наружная; *11* — токопровод ЩЭМ; *12* — накладка ЩЭМ; *13* — наконечник; *t* — тангенциальный размер ЩЭМ; *a* — аксиальный размер ЩЭМ; *r* — радиальный размер ЩЭМ

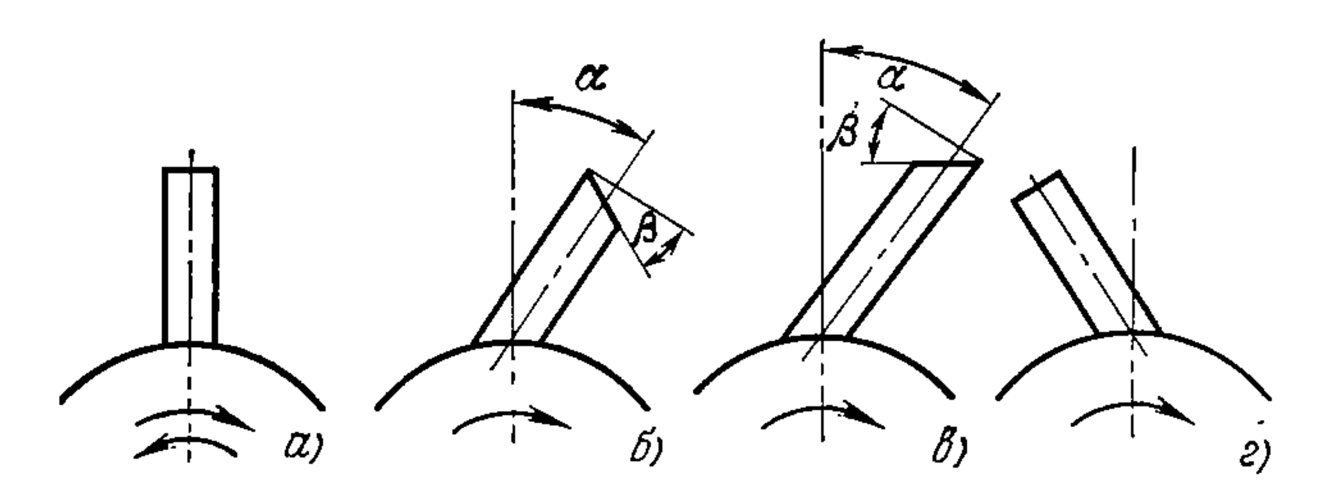


Рис. 2.2. Положение щеток по отношению к контактной поверхности коллектора электрической машины (термины по ГОСТ 21888-76):

а — радиальная щетка электрической машины (ЩЭМ); *б* — реактивная ЩЭМ с положительным углом скоса верхней поверхности; *в* — реактивная ЩЭМ с отрицательным углом скоса верхней поверхности; *г* — волочащаяся ЩЭМ; α — угол наклона ЩЭМ; β — угол скоса верхней поверхности ЩЭМ

термины. Допускаемая указанным стандартом краткая форма этих терминов образуется путем исключения слов «электрическая машина».

На рис. 2.1. изображены щетки электрических машин, направление осей которых совпадает с направлением радиусов коллекторов и контактных колец. При подобной ориентировке щеток их называют радиальными. В случае, если ось щетки располагается под углом к направлению радиуса коллектора или кольца, ее называют наклонной. Если ось щетки отклонена в направлении вращения коллектора или кольца, то ее называют реактивной, а против этого направления — волочащейся. Радиальное и наклонное расположение щеток определенным образом связано с ориентировкой по отношению к их оси контактной и верхней поверхностей. Положение верхней поверхности определяется с помощью угла скоса β, который может быть как положительным, так и отрицательным. Положение контактной поверхности определяется углом наклона щетки α. Эти термины и определения иллюстрируются рис. 2.2. Для разных положений щеткам придается соответствующая геометрическая форма.

2.2. Типы и размеры щеток

2.2.1. Типы и размеры щеток электрических машин установлены ГОСТ 12232.1-77, введенным в действие с 1.01.79 г. Этот ГОСТ полностью соответствует стандарту СЭВ СТ 73-74 и публикациям МЭК 136-1, 136-1А, 136-2. Новый ГОСТ содержит ряд принципиальных отличий от действовавшего ранее одноименного стандарта, первое из которых состоит в том, что новый ГОСТ устанавливает не только размеры щеток, а что особенно важно, допустимые сочетания этих размеров (табл. 2.1). В таблице приведены размеры щеток для электрических машин всех типов и назначений, за исключением машин, снабженных торцевыми коллекторами. Второе отличие заключается в том, что новый ГОСТ содержит дополнительные размеры для щеток автотракторного электрооборудования (табл. 2.2).

Новые шкалы размеров охватывают тангенциальные размеры щеток t от 0,4 до 50,0 мм, аксиальные a от 0,8 до 50,0 мм и радиальные r от 1,2 до 125,0 мм. Подобный диапазон изменения размеров щеток призван удовлетворить требования развивающегося микроэлектромашиностроения и получающих распространение новых щеткодержателей постоянного давления с рулонными пружинами. Выбирая размеры и сочетания размеров щеток в различных направлениях, предпочтение нужно отдавать тем из них, которые в табл. 2.1 даны полужирным шрифтом. Размеры щеток следует указывать через знак умножения в последовательности $t \times a \times r$. Размеры разрезных щеток нужно указывать следующим образом:

$$\left(2 \times \frac{t}{2}\right) \times a \times r.$$

2.2.2. Номинальные размеры щеток выдерживаются с определенными допусками, которые в сочетании с допусками на внутренние размеры гнезд обойм щеткодержателей обеспечивают необходимый между ними зазор. Все отклонения размеров нормированы ГОСТ 12232.1-77 и воспроизведены в табл. 2.3. Для разрезных щеток предельные отклонения суммарного размера t допускается увеличивать на 0,02 мм. Щетки с размерами t и a до 1,0 мм имеют предельное отклоне-

Таблица 2.1. **Номинальные размеры щеток, ГОСТ 12232.1-77**

Тангенциальный размер *t*, мм	Аксиальный размер *a*, мм	Площадь контактной поверхности $t \times a$, мм²	Радиальный размер *r*, мм
0,4*	0,8	0,32	1,2
0,6*	1,0	0,60	0,8; 1,2
0,8*	1,2 1,4 **1,6**	0,96 1,12 1,28	1,6; 2,0 2,0; 2,5; 5,0 5,0
1,0*	1,2 **1,6**	1,20 1,60	1,6 **2,5; 6,3**; 8,0
1,2*	1,6	1,92	**2,0**
1,6*	2,0 2,5	3,20 4,00	2,5; 4,0, 5,0; **8,0**; 10,0 **8,0**
2,0*	2,5 **3,2**	5,00 6,40	6,3; **8,0**; 10,0 6,3; 8,0; 10,0; 16,0
2,5*	**3,2** 4,0 **5,0**	8,00 10,00 12,50	**8,0**; 10,0; **16,0** 8,0; **10,0**; 12,5 10,0; **12,5**
3,2*	2,5 4,0 **5,0** 6,3	8,00 12,80 16,00 20,16	10,0 6,3; 8,0; **10,0**; 12,5 8,0; 10,0; **12,5**; 16,0 12,5; **16,0**
4,0	2,5 **3,2** **5,0** 6,3 **8,0** **10,0**	10,00 12,80 20,00 25,20 32,00 40,00	10,0 10,0 8,0; 10 0; **12,5**; 16,0 12,5; **16,0** 16,0; **20,0** 16,0; **20,0**
5,0	3,2 4,0 6,3	16,00 20,00 31,50	**12,5** 12,5 12,5; **16,0**; 20,0; 25,0

Продолжение табл. 2.1.

Тангенциальный размер t, мм	Аксиальный размер a, мм	Площадь контактной поверхности $t \times a$ мм²	Радиальный размер r, мм
5,0	**8,0**	40,00	12,5; 16,0 **20,0**; 25,0
	10,0	50,00	16,0; **20,0**; 25,0
	12,5	62,50	20,0; **25,0**; 32,0
	16,0	80,00	20,0; **25,0**; 32,0
	20,0	100,00	25,0; **32,0**; 40,0
	25,0	125,00	**32,0**; 40,0; 50,0
	32,0	160,00	32,0; **40,0**; 50,0
6,3	**3,2**	20,16	**12,5**
	4,0	25,20	12,5; **16,0**
	5,0	31,50	16,0
	8,0	50,40	16,0; **20,0**; 25,0
	10,0	63,00	**20,0**; 25,0; 32,0
	12,5	78,75	20,0; **25,0**; 32,0
	16,0	100,80	**25,0**; 32,0
	20,0	126,00	25,0; **32,0**; 40,0; 50,0
	25,0	157,50	**32,0**; 40,0; 50,0
	32,0	201,60	32,0; **40,0**; 50,0
8,0	4,0	32,00	16,0; **20,0**
	5,0	40,00	16,0; **20,0**
	6,3	50,40	20,0
	10,0	80,00	20,0; **25,0**; 32,0
	12,5	100,00	16,0; 20,0; **25,0**; 32,0 50,0
	16,0	128,00	25,0; 32,0; 40,0
	20,0	160,00	25,0; **32,0**; 40,0; 50,0
	25,0	200,0	**32,0**; 40,0; 50,0;
	32,0	256,0	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0
10,0	**5,0**	50,0	16,0; **20,0**
	6,3	63,00	16,0; **20,0**; 25,0
	8,0	80,00	20,0; **25,0**; 32,0
	12,5	125,0	**25,0**; 32,0; 40,0
	16,0	160,0	**25,0**; 32,0; 40,0
	20,0	200,00	25,0; **32,0**; 40,0; 50,0; 64,0
	25,0	250,00	32,0; **40,0**; 50,0; **64,0**
	32,0	320,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0
	40,0	400,00	40,0; **50,0**; 64,0
12,5	6,3	78,75	**20,0**; 25,0
	8,0	100,00	**25,0**; 32,0
	10,0	125,00	**25,0**; 32,0
	16,0	200,0	25,0; 32,0; 40,0

Продолжение табл. 2.1.

Тангенциальный размер t, мм	Аксиальный размер a, мм	Площадь контактной поверхности $t \times a$, мм²	Радиальный размер r, мм
12,5	20,0	250,00	**32,0**; 40,0; 50,0;
	25,0	312,50	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0
	32,0	400,00	32,0; **40,0**: 50,0; 64,0; 80,0
	40,0	500,00	40,0; **50,0**; 64,0; 80,0
	50,0	625,0	50,0; **64,0**; 80,0
16,0	6,3	100,80	**20,0**; 25,0
	8,0	128,00	**25,0**; 32,0
	10,0	160,00	25,0; **32,0**; 40,0
	12,5	200,00	**32,0**; 40,0
	20,0	320,00	**32,0**; 40,0; 50,0
	25,0	400,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0
	32,0	512,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64; 80,0
	40,0	640,00	40,0; **50,0**; 64,0; 80,0
	50,0	800,00	50,0; **64,0**; 80,0
20,0	8,0	160,00	**25,0**; 32,0;
	10,0	200,00	25,0; **32,0**; 40,0
	12,5	250,00	**32,0**; 40,0; 50,0
	16,0	320,00	**32,0**; 40,0; 50,0
	25,0	500,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0
	32,0	640,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0; 80,0
	40,00	800,00	40,0; **50,0**; 64,0; 80,0
	50,0	1000,00	50,0; **64,0**; 80,0
25,0	8,0	200,00	**32,0**; 40,0; 50,0
	10,0	250,00	**32,0**; 40,0; 50,0
	12,5	312,50	**32,0**; 40,0; 50,0
	16,0	400,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0
	20,0	500,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0
	32,0	800,00	**40,0**; 50,0; 64,0; 80,0
	40,0	1000,00	40,0; **50,0**; 64,0; 80,0; 100,0
	50,0	1250,00	50,0; **64,0**; 80,0; 100,0
32,0	**10,0**	320,00	**32,0**; 40,0; 50,0; 64,0
	12,5	400,00	**32,0**; 40,0; 50,0; 64,0
	16,0	512,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0 80,0
	20,0	640,00	32,0; **40,0**; 50,0; 64,0 80,0; 100,0
	25,0	800,00	**40,0**; 50,0; 64,0; 80,0; 100,0; 125,0
	40,0	1280,00	40,0; **50,0**; 64,0; 80,0; 100,0; 125,0

Продолжение табл. 2.1.

Тангенциальный размер t, мм	Аксиальный размер a, мм	Площадь контактной поверхности $t \times a$, мм²	Радиальный размер r, мм
	50,0	1600,00	50,0, **64,0**; 80,0; 100,0; 125,0
40,0	**12,5** **16,0** **20,0** 25,0 **32,0** **50,0**	500,00 640,00 800,00 1000,00 1280,00 2000,00	**40,0**; 50,0; 64,0 40,0; **50,0**; 64,0; 80,0 40,0; **50,0**; 64,0; 80,0; 100,0 40,0; **50,0**; 64,0; 80,0; 100,0; 125,0 40,0; **50,0**; 64,0; 80,0; 100,0; 125,0 **80,0**; 100,0; 125,0
50,0	**20,0** 25,0 **32,0** 40,0	1000,00 1250,00 1600,00 2000,00	40,0; **50,0**; 64,0; 80,0; 100,0 40,0; **50,0**; 64,0; 80,0; 100,0; 125,0 50,0; **64,0**; 80,0; 100,0; 125,0 64,0; **80,0**; 100,0; 125,0

* У щеток, предназначенных для использования на контактных кольцах, размеры t и a допускается менять местами.

Примечания: 1. Размеры r могут отличаться от указанных в таблице, но все они должны выбираться из ряда Р20 по ГОСТ 8032-56.

2. Приведенные в таблице размеры r не учитывают высоту армирующих накладок и цилиндрических или конических головок, находящихся на щетках некоторых типов.

3. Предпочтительные размеры t, a и r и их сочетания выделены полужирным шрифтом.

ние ±0,12 мм. Щетки, неподвижно закрепляемые в щеткодержателях, по согласованию с заказчиком могут иметь допуск на размеры t и a ±0,15 мм. Поле допуска щеток, изготавливаемых методом выдавливания (ЭГ17), по согласованию с заказчиком может быть увеличено по сравнению с указанным в табл. 2.3. В обоснованных случаях стандарт допускает ужесточение указанных в этой таблице допусков.

2.2.3. На ребрах щетки, расположенных параллельно радиальному размеру r, снимаются фаски. Номинальные размеры фасок и их предельные отклонения выбираются по наименьшему из размеров t или a и соответствуют указанным в табл. 2.4. Размеры фасок разрезных щеток выбираются по наименьшему из размеров t и a комплекта (т. е. двух разрезных щеток).

Для щеток, прессуемых в размер, угол наклона фаски может лежать в пределах от 30 до 45 °. Снятие фасок на других ребрах щетки производится по согласованию между изготовителем и потребителем.

2.2.4. Щетки перечисленных в табл. 2.1 и 2.2 размеров могут иметь различную конфигурацию и на них могут располагаться токопроводы. ГОСТ 12232.1-77 устанавливает возможные сочетания конфигурации щетки с токоведущими проводами, определяя их как тип щетки. Обозначение типа щетки составлено из буквы «К» и двух располагающихся рядом с ней чисел, разделенных черточкой. Буквой с примыкающим

Таблица 2.2. **Номинальные размеры щеток, допускаемых к применению на автотракторном электрооборудовании, ГОСТ 12232.1-77**

Тангенциальный размер t, мм	Аксиальный размер a, мм	Площадь контактной поверхности $t \times a$, мм²	Радиальный размер r, мм
4,0	7,0	28,0	10,5
5,0	6,5 8,0	30,2 40,0	15,0 18,0
5,5	12,0	66,0	15,0
6,0	6,0 6,5	36,0 39,0	10,0 18,0
6,3	6,0 6,5 22,5	37,8 40,9 141,8	6,0 6,5 22,5
6,5	6,5	42,2	11,0
7,0	7,5 8,0 16,0	52,5 56,0 112,0	10,5 18,0 16,0; 21,0
8,8	6,5 19,2	57,2 168,9	11,0 14,0
10,0	22,5	225,0	20,0
11,0	16,0	176,0	20,0
12,0	21,0 32,0	252,0 384,0	20,0 20,0

Примечание. У щеток, предназначенных для использования на контактных кольцах, размеры t и a допускается менять местами.

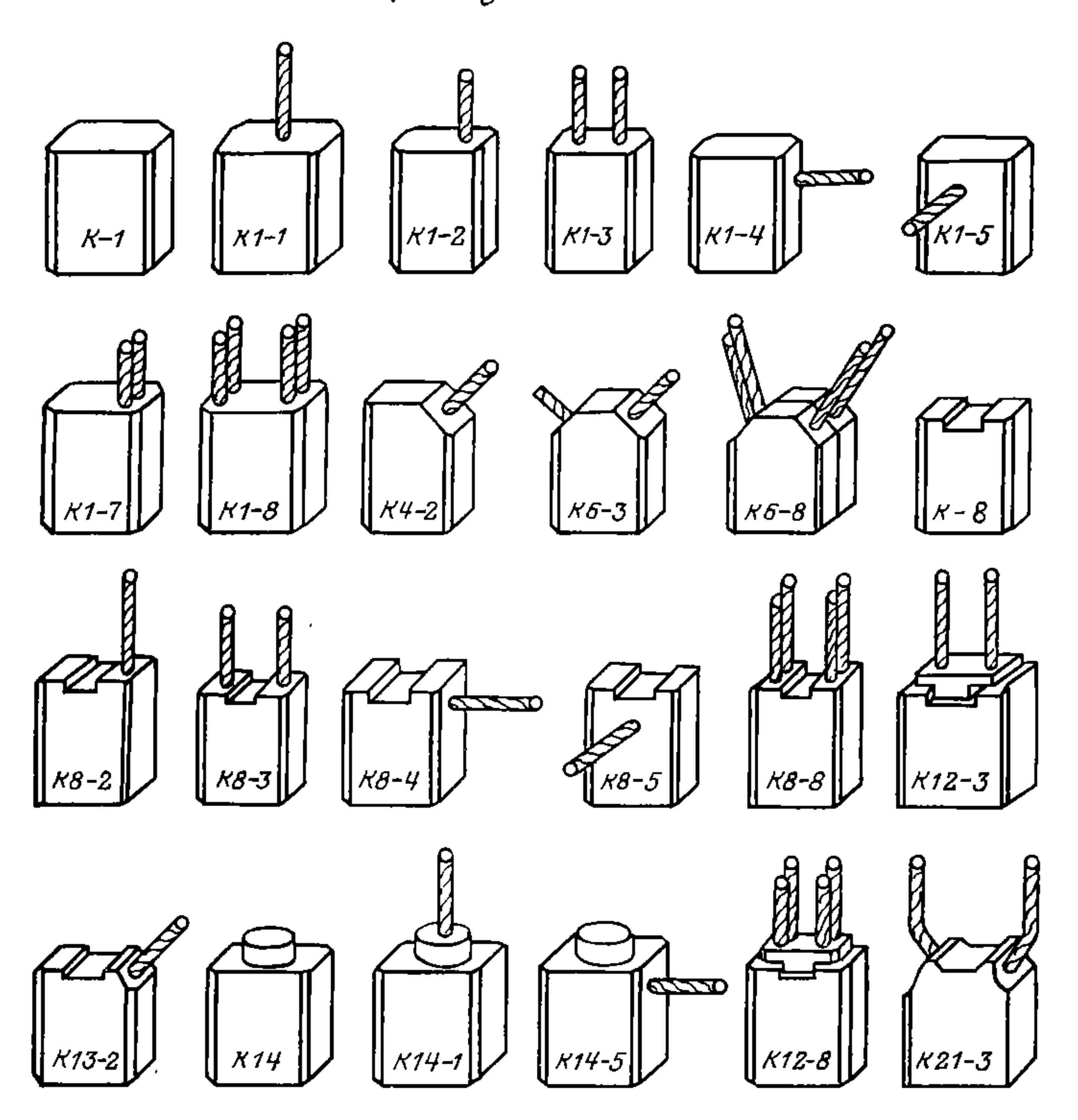
к ней числом закодирована конфигурация щетки, а в следующем после черточки числе зашифровано место заделки токопровода. Типы изготавливаемых щеток изображены на рис. 2.3, из которого следует, что к применению допущено 17 различных по своей геометрической форме щеток, на которых токопроводы занимают 7 различных положений.

2.2.5. Различия в геометрической форме щеток достигаются за счет изменения соотношения размеров t, a и r, за счёт изменения располо-

Таблица 2.3. **Предельные отклонения размеров щеток, мм ГОСТ 12232.1-77**

Номинальные размеры *t, a, r*	Щеткодержатель: Предельные отклонения размеров *t* и *a*	Щеткодержатель: Поле допуска	Щетка: Предельные отклонения размеров *t* и *a*	Щетка: Поле допуска	Зазор	Предельное отклонение размеров *r*
1,0 1,6 2,0 2,5	+0,014 +0,054	0,040	—0,03 —0,09	0,06	0,044 0,144	±0,3
3,2 4,0	+0,020 +0,068	0,048			0,050 0,158	
5,0			—0,03 —0,11	0,08	0,050 0,178	
6,3 8,0 10,0	+0,025 +0,083	0,058			0,055 0,193	
12,5 16,0	+0,032 +0,102	0,070	—0,04 —0,13	0,09	0,072 0,232	±0,5
20,0 25,0	+0,040 +0,124	0,084			0,080 0,254	
32,0 40,0 50,0	+0,050 +0,150	0,100	—0,05 —0,15	0,10	0,100 0,300	±0,8
64,0 80,0	+0,060 +0,180	0,120			0,110 0,330	
100,0 125,0	—	—	—	—	—	±1,0

Типы прямоугольных щеток



Типы щеток со скошенными поверхностями

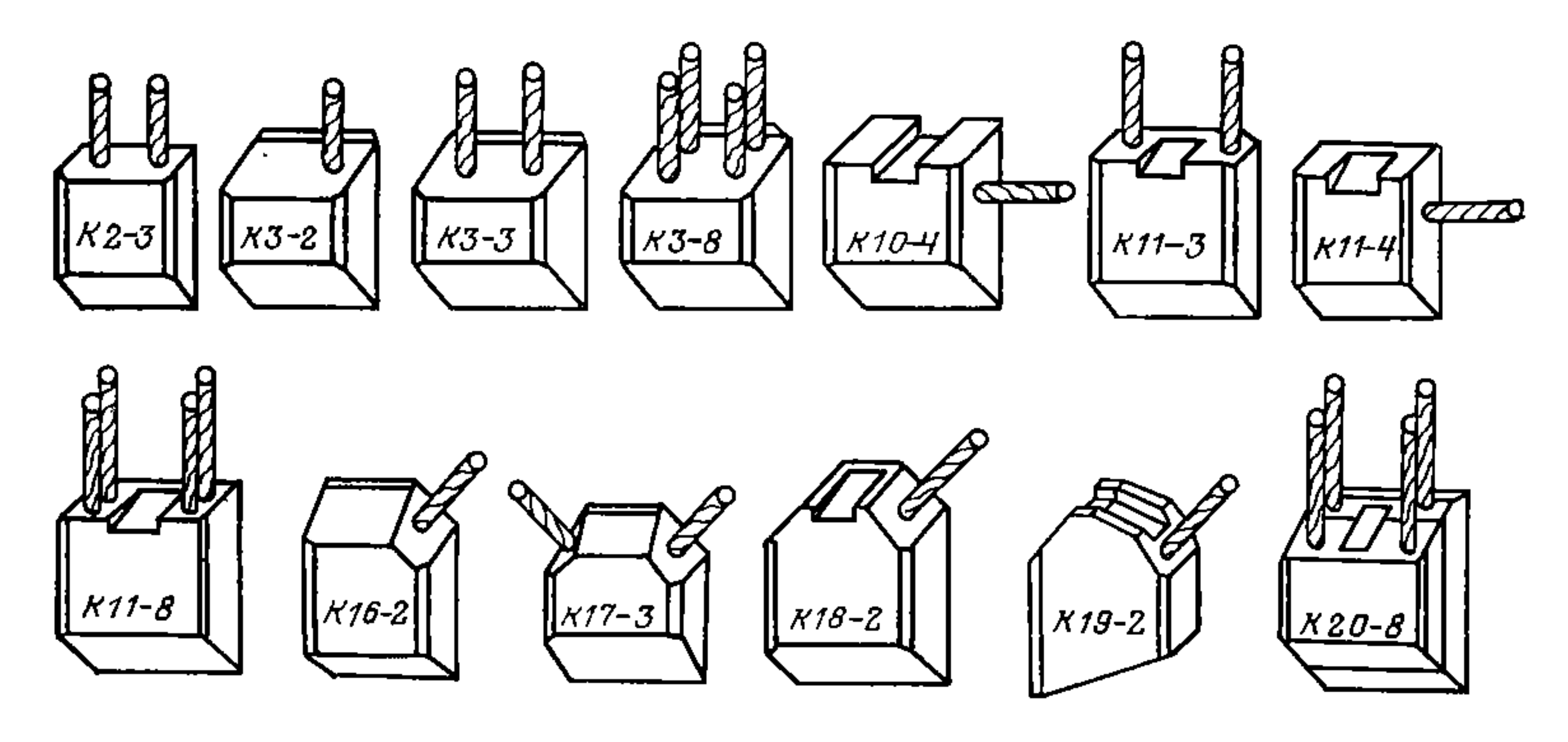


Рис. 2.3. Типы щеток, установленные ГОСТ 12232.1-77

Таблица 2.4. Расположение и размеры фасок на ребрах щеток, мм, ГОСТ 12232.1-77 (рис. 2.4)

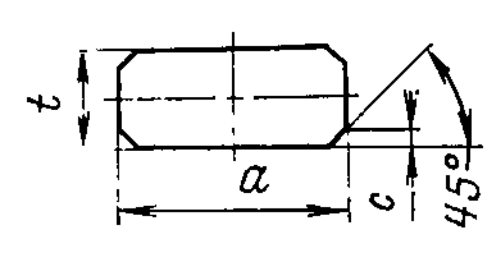


Рис. 2.4

Номинальный размер щетки t или a	Размер фаски c	
	номинальный	предельное отклонение
До 1,6	0,1	+0,1
Свыше 1,6 до 3,2	0,2	
Свыше 3,2 до 8,0	0,5; 0,8*	±0,3
Свыше 8,0 до 20,0	1,0; 2,0**	
Свыше 20,0	2,0	·0,5

* Указанный размер фасок применяется на щетках автотракторных электрических машин.

** Указанный размер фасок применяется на щетках электрических машин железнодорожного транспорта.

Таблица 2.5. Нормированные значения углов наклона α и скоса β поверхностей щеток, ГОСТ 12232.1-77 (рис. 2.5)

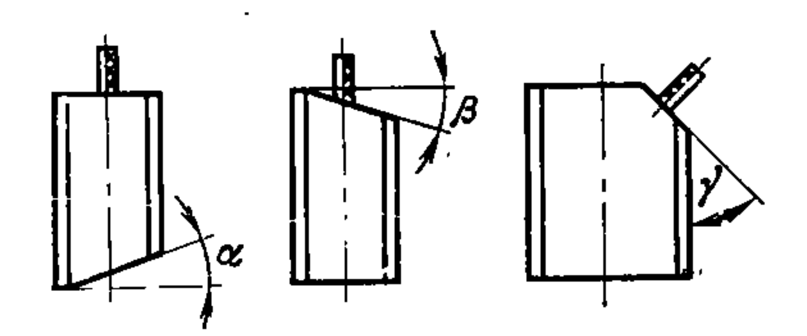


Рис. 2.5

α	β	γ	Предельные отклонения
7°30′, 15°, 22°30′, 30°, 37°30′	7°30′, 15°, 22°30′, 30°, 37°30′ 45°	30°, 45°, 60°,	±1°

Примечания: 1. Если угол α превышает 15°, а t более 8 мм, то острая грань щетки может быть скошена или закруглена.

2. Если угол β превышает 15°, то при его вершине может быть предусмотрена площадка шириной не более 1 мм.

жения их контактных и верхних плоскостей относительно оси и за счёт устройства на верхней плоскости пазов под пружины или рычаги щеткодержателей. Нормированные значения углов наклона и скоса плоскостей приведены в табл. 2.5, а размеры пазов на верхней плоскости щеток — в табл. 2.6. По согласованию между изготовителем и потребителем допускается несимметричное расположение пазов на верхней плоскости щеток.

2.2.6. На верхней плоскости неармированных щеток предусматривается площадочка, предназначенная для восприятия давления со стороны соответствующего элемента щеткодержателя. Эта площадочка располагается симметрично относительно оси щетки, она свободна от токопроводов, и ее размеры соответствуют указанным в табл. 2.7. Указанные здесь размеры p не распространяются на щетки для реактивных щеткодержателей, и по согласованию между изготовителем и потребителями они могут быть увеличены.

2.2.7. Каждый из указанных на рис. 2.3 типов щеток имеет обобщенную характеристику и предназначен, в соответствии с ГОСТ 12232.1-77, для применения в условиях, перечисленных в табл. 2.8.

2.2.8. Еще одной принципиальной особенностью ГОСТ 12232.1-77 является указание на то, что щетки тех или иных типов разрешается изготавливать не с любыми из указанных в табл. 2.1 и 2.2 размерами, а только с некоторыми из них. «Привязка» щеток определенных раз-

Таблица 2.6. **Нормированные размеры пазов на верхней плоскости щеток, ГОСТ 12232.1-77 (рис 2.6)**

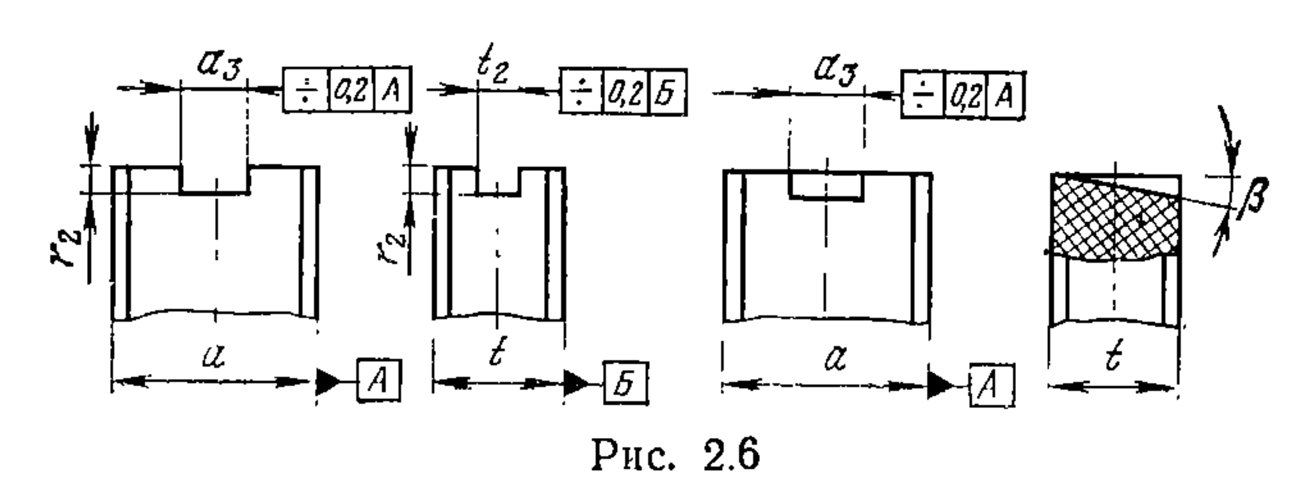


Рис. 2.6

Ширина паза t_2 или a_3, мм		Глубина паза r_2, мм	
Номинальный размер	Предельные отклонения	Номинальный размер	Предельные отклонения
0,8	± 0,1	0,5	+ 0,25
1,1 1,6	± 0,2 ± 0,2		
2,1 2,6 3,1 4,1	± 0,3		
5,1		1,0	
6,4 7,1 8,1	± 0,2		
10,1 12,6 16,1 20,1 25,1		2,5; 4,0; 5,0	+ 0,50

Примечание. Угол скоса β принимается по табл. 2.5.

меров к их конкретному типу произведена на основе обобщения многолетнего опыта их конструирования, производства и эксплуатации. Обобщение этого опыта указало также на целесообразность взаимной увязки между собой не только различных элементов щеток и их арматуры, но и материала, из которого они изготавливаются. Осуществляя отмеченную тенденцию взаимной увязки, щеточные предприятия страны с начала 70-х годов начали внедрять в народное хозяйство систему унифицированных чертежей на щетки. Информация об этих чертежах опубликована в изданных Информэлектро каталогах 24.01.02-71 (щетки автотракторных электрических машин), 24.01.09-74 (щетки коллекторных машин переменного трехфазного тока) и 24.01.13-77 (щетки электрических машин железнодорожного транспорта). Положительный эффект, полученный от перевода электрических машин специализированного назначения на работу со щетками, изготовленными по унифицированным

Таблица 2.7. Размеры площадки на верхней поверхности щетки, свободной от токоведущих проводов (рис. 2.7)

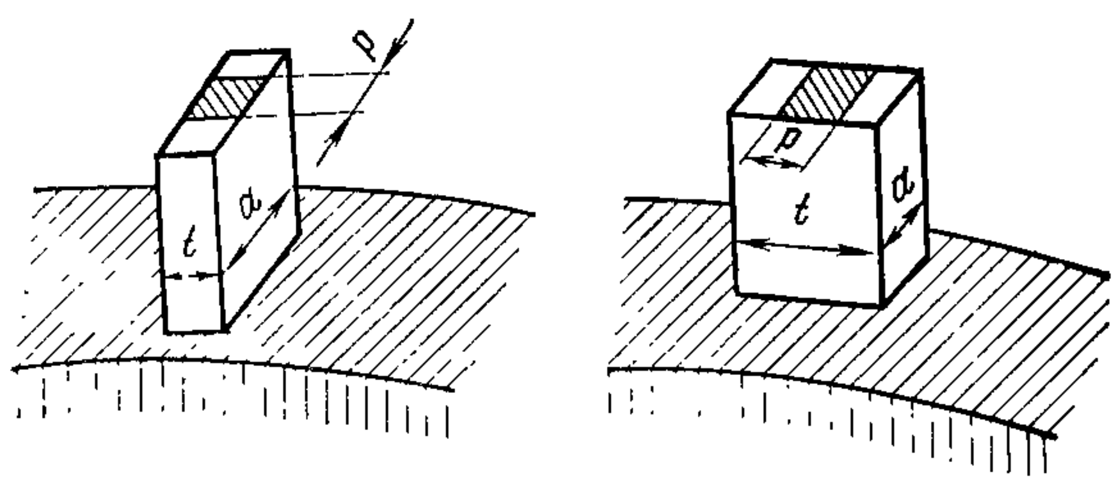


Рис. 2.7

Номинальный размер щетки t или a, мм	Минимальный размер p, мм	Номинальный размер щетки t или a, мм	Минимальный размер p, мм
12,5	6,3	32	16,0
16	6,3	40	20,0
20	10,0	50	25,0
25	12,5		

Примечания: 1. Для щеток с размерами t или a, равными 25 мм, значение p может быть уменьшено таким образом, чтобы можно было закрепить два токопровода. 2. В щетках, у которых $t>a$, площадка p может располагаться несимметрично относительно оси.

Таблица 2.8. Характеристика и применяемость щеток различных типов

Тип щетки	Обобщенная характеристика	Применение
К1, К1-1, К1-2, К1-3, К1-4, К1-5, К1-7, К1-8, К4-2, К6-3, К6-8	Прямоугольные с верхним скосом	Для радиальных щеткодержателей с пружинами различного исполнения
К8, К8-2, К8-3, К8-4, К8-5 К8-8, К12-3, К12-8, К13-2	Прямоугольные с пазом на верхней поверхности	Для радиальных щеткодержателей с ленточной пружиной
К14, К14-1, К14-5	Прямоугольные с головкой на верхней поверхности	Для радиальных щеткодержателей со спиральной проволочной пружиной
К2-3, К3-2, К3-3, К3-8, К10-4, К11-3, К11-1, К16-2, К17-3, К18-2, К19-2, К20-8, К11-8	Со скошенными контактной и верхней поверхностями	Для реактивных щеткодержателей
К21-3	Сложной конфигурации	Для щеткодержателей автотракторного электрооборудования

чертежам, послужил основанием для создания подобных чертежей на щетки машин общего применения. Реализация описываемого мероприятия началась с выпуска отраслевого стандарта на конструкцию и размеры армированных щеток электрических машин общего применения (ОСТ. 16.0.684187-75) и стандарта предприятия, установившего номенклатуру марок этих щеток (СТП.ФЭО.000.056-78).

Особенность ОСТ 16.0.684.187-75 состоит в том, что он нормирует не только возможные сочетания типов и размеров щеток, как это делает ГОСТ 12232.1-76, но и устанавливает для них длину, сечение и количество токопроводов, способ их заделки, тип и количество наконечников, одеваемых на токопроводы, и все прочие элементы их армировки, т. е. нормирует щетку в сборе. Допущенному к применению сочетанию перечисленных элементов, дополненному указанием на марку материала, из которого изготовлена щетка, присваивается определенное обозначение, которое в СТП.ФЭО.000.056-78 используется в качестве номера чертежа на унифицированную щетку. Главным в этом СТП является указание на марку материала щетки.

В последующем будут созданы унифицированные чертежи на все щетки машин общего назначения и станет возможным описание их в специальном каталоге.

Переход промышленности на использование щеток, изготовленных по унифицированным чертежам, существенно сокращает количество и номенклатуру находящихся в производстве и эксплуатации типоразмеров и конструктивных вариаций щеток. Это обстоятельство создает условия для организации их крупносерийного и массового изготовления, что обеспечивает более полное удовлетворение потребностей народного хозяйства в щетках.

2.2.9. В табл. 2.3 — 2.6 приводились значения допустимых отклонений номинальных размеров щеток. Предельные отклонения для размеров их других элементов установлены следующие: расстояния между осями токопроводов имеют допуск ±0,5 мм; высота круглой головки у щеток типов К14, К14-1 и К14-5 — по B_7; расстояние от верхней поверхности до оси токопровода, заделываемого в щетки типов К1-4, К1-5, К8-4, К8-5, К10-4, К11-4, К14-5, имеет допуск ±0,3 мм, а симметричность расположения токопроводов относительно размеров *t* и *a* щеток этих типов имеет допуск, значение которого согласовывается между изготовителем и потребителем. Предельные отклонения всех прочих размеров устанавливаются по A_7 и B_7.

Шероховатость поверхностей щеток не более R_z=40 по СТ СЭВ 638-77.

2.3. Арматура щеток

2.3.1. Элементами щеточной арматуры являются токопроводы (токоведущие провода), их наконечники, накладки, амортизаторы, крепежные и другие детали.

2.3.2. Токопроводы изготавливаются из медных проводов, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 9125-74. В соответствии с названным документом эти провода имеют параметры, приведенные в табл. 2.9. По согласованию между изготовителем и потребителем щеток указанная в таблице таковая нагрузка на токопровод кратковременно может превышаться. При изготовлении проводов используется медная проволока марки МТ по ГОСТ 2112-79. Направление скрутки внешнего повива провода является левым.

Таблица 2.9. Параметры проводов, используемых при армировании щеток, ГОСТ 9125-74

Номинальное сечение, мм²	Диаметр отдельных проволочек, мм	Расчетный диаметр провода, мм, марки			Расчетная масса провода, г/м, марки			Электрическое сопротивление, Ом/км, не более	Допустимая токовая нагрузка, А
		ПЩ	ПЩС	МПЩ	ПЩ	ПЩС	МПЩ		
0,015	0,02	—	—	0,180	—	—	0,146	1300	0,21
0,025	0,05	—	—	0,300	—	—	0,260	680	0,35
0,030	0,02	—	—	0,265	—	—	0,260	630	0,42
0,050	0,05	—	—	0,362	—	—	0,520	390	0,70
0,060	0,05	0,335	—	—	0,556	—	—	311	1,60
0,080	0,05	—	—	0,450	—	—	0,780	240	2,72
0,090	0,05	0,400	—	—	0,824	—	—	215	2,70
0,130	0,05	0,600	—	—	1,145	—	—	156	3,40
0,160*	0,05	0,650	—	—	1,141	—	—	113	3,90
0,180	0,05	0,675	—	—	1,439	—	—	107	4,30
0,250	0,05	0,750	—	—	2,270	—	—	78	5,00
0,300*	0,05	0,850	—	—	2,520	—	—	65	5,70
0,350	0,05	0,950	—	—	2,880	—	—	54	6,30
0,500	0,05	1,050	—		4,030	—	—	36	8,00
0,700	0,07	1,350	—	—	6,590	—	—	28	10,50
0,750*	0,07	1,346	—	—	7,140	—	—	24	11,00
1,00	0,07**	1,700	1,900	—	8,790	9,200		21	13,00
1,25	0,07	2,000	—	—	10,810	—	—	16,8	14,90
1,50*	0,07**	2,100	2,160	—	13,875	14,050	—	14,0	16,40
1,60	0,07	2,200	2,830		15,350	—	—	12,0	17,50
2,00	0,07	2,400	—	—	19,565	—	—	9,3	20,80
2,50	0,07**	2,600	2,830	—	22,800	23,200		8,0	25,00
3,20	0,07	3,00	—	—	30,070	—	—	6,0	28,50
4,00	0,13***	3,120	3,630	—	37,400	38,00	—	4,8	35,50
6,00	0,13***	3,930	4,040	—	56,600	53,200	—	3,4	45,00
8,00	0,07	—	4,700	—	—	76,400	—	2,4	53,00
10,00	0,13***	4,740	5,300	—	91,600	92,400	—	2,0	65,00
12,50	0,07	—	5,900	—	—	111,000	—	1,6	75,00
16,00	0,07	—	6,700	—	—	157,00	—	1,2	90,00

* В новых разработках не применять.
** В проводе марки ПЩС размер уменьшен до 0,05 мм.
*** В проводе марки ПЩС размер уменьшен до 0,07 мм.

2.3.3. Длина устанавливаемого на щетках токопровода и допуски на нее нормированы ГОСТ 12232.1-77 и имеют следующие значения:

Нормированная длина токопровода, мм	Допустимые отклонения, мм
16, 20, 25, 32, 40	+3
50, 56, 63, 71, 80, 90, 100	+5
112, 125, 140, 160	+8

Схема определения длины токопровода показана на рис. 2. 8.

2.3.4. Соединение токопровода со щеткой осуществляется способами пайки (П), запрессовки (З), конопатки (К) и развальцовки (Р) (рис. 2. 9). Соединение способом конопатки производится путем сверления в готовом изделии отверстия, в которое вводится конец токопровода и засыпается медный порошок. По мере поступления в отверстие порошок утрамбовывают, в результате чего он уплотняется и конец токопровода оказывается законопаченным в тело щетки. В случае, когда эксплуатация щетки происходит при значительных вибрациях, представляется целесообразным повысить прочность заделки, для чего оказывается достаточным в место выхода провода из щетки ввести несколько капель синтетической смолы.

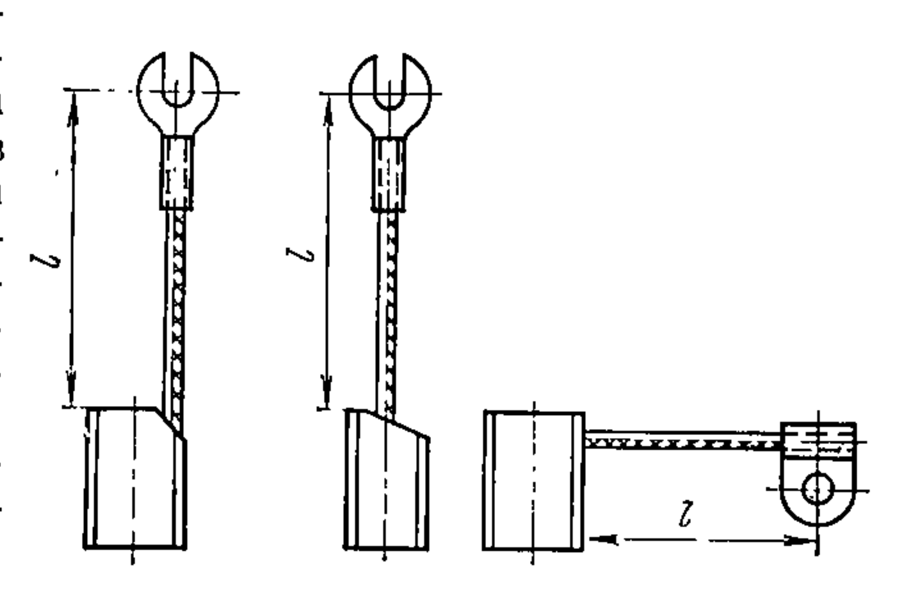


Рис. 2.8. Схема определения длины токоведущего провода щетки

Заделка токопровода способом развальцовки помимо сверления отверстий в щетке требует применения специальных трубок и шайб. Используемый в производстве ассортимент этих деталей приведен в табл. 2.10 и 2.11.

При заделке токопровода способом пайки контакт между ним и телом щетки осуществляется припоем, а заделка способом запрессовки производится путем приложения сжимающего усилия к щетке, в соответствующее отверстие которой предварительно введен токопровод.

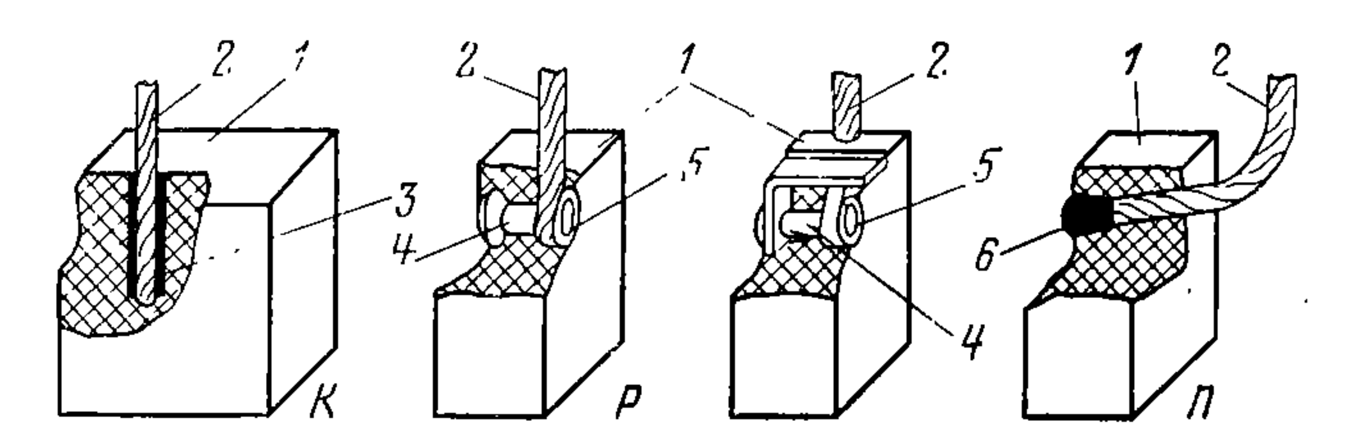


Рис. 2.9. Соединение токопровода со щеткой способами конопатки (К), развальцовки (Р) и пайки (П):

1 — тело щетки; *2* — токопровод; *3* — порошок конопаточный; *4* — трубка медная; *5* — шайба медная; *6* — припой

Возможность применения того или иного способа заделки токопровода определяется свойствами щеточных материалов и размерами готовых изделий. По указанной причине выбор этого способа в каждом конкретном случае производится изготовителем щеток и согласуется с заказчиком.

2.3.5. Для заделки токопроводов в щетку используется часть ее радиального размера q, которая определяется размерами t и a и значения которой указаны в табл. 2.12. Указанные в таблице значения представляют собой наибольшие значения размера q с учетом допуска на сверление отверстия. Этот допуск принимается для отверстий глубиной до 10 мм равным ±0,5 мм, а для отверстий с большей глу-

Таблица 2.10. Размеры латунной трубки для креплений арматуры щеток, мм, ГОСТ 949-76 (рис. 2.10)

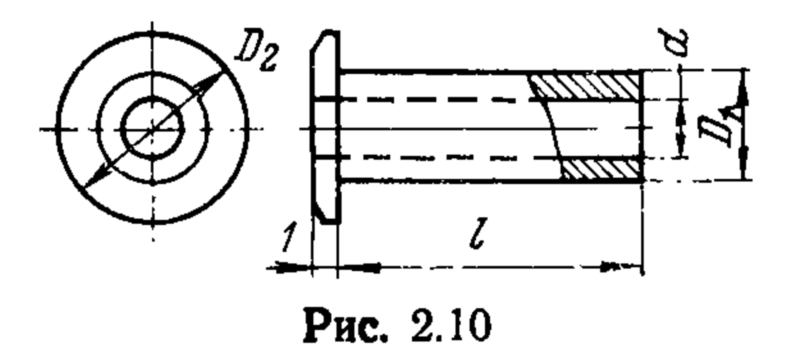


Рис. 2.10

d	D_1	D_2	l
3,0	4,0	$6{,}5_{-0,9}$	$12{,}0_{-0,43}$ $14{,}5_{-0,43}$ $18{,}0_{-0,43}$ $22{,}0_{-0,52}$ $27{,}0_{-0,52}$ $32{,}0_{-0,62}$
	5,0	$7{,}5_{-0,9}$	$12{,}0_{-0,43}$ $14{,}5_{-0,43}$
4,0	6,0	$8{,}5_{-0,9}$	$12{,}0_{-0,43}$ $14{,}5_{-0,43}$ $18{,}0_{-0,43}$ $22{,}0_{-0,52}$ $24{,}0_{-0,52}$ $27{,}0_{-0,52}$ $34{,}0_{-0,52}$
6,0	8,0	$10{,}5_{-0,9}$	$11{,}0_{-0,43}$ $14{,}5_{-0,43}$ $22{,}0_{-0,52}$ $27{,}0_{-0,52}$
4,0	6,0	$8{,}5_{-0,9}$	$10{,}0_{-0,36}$
3,0	5,0	$7{,}5_{-0,9}$	
4,0	6,0	$8{,}5_{-0,9}$	$17{,}0_{-0,43}$

биной ±1,0 мм. У разрезных щеток значения q выбираются в зависимости от размеров l и a каждой части.

Для щеток типов К1-4, К1-5, К4-2, К6-3, К6-8, К8-4, К8-5, К16-2, К11-4, К13-2, К17-3, К18-2 и К19-2 часть размера r, используемая для

Таблица 2.11. **Размеры шайб для крепления арматуры щеток, мм. Материал — лента латунная твердая по ГОСТ 2208-75 (рис. 2.11)**

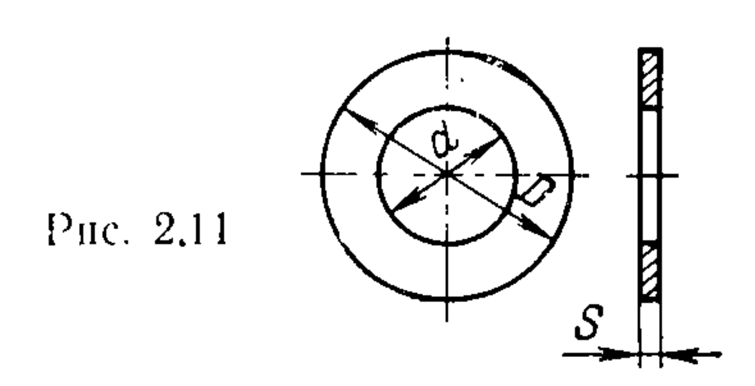


Рис. 2.11

d	D	s	d	D	s
4,5	8,5	0,8	6,5	12,0	0,8
4,5	12,0	0,8	8,5	16,0	1,0
5,5	10,0	0,8			

заделки токопровода и размещения накладок, не должна превышать 50% для щеток с $r<16$ мм, и 40% — для щеток с $r\geqslant16$ мм.

В отдельных технически обоснованных, случаях допускается размер q устанавливать по согласованию между изготовителем и потребителем щеток.

Размещение элементов арматуры приводит к уменьшению той части размера щетки, которая может быть использоваиа для полезной работы и которая образует ее ресурс $r_п$. Очевидно, что последний равен $r_п=r—q$.

2.3.6. Способ заделки токопровода определяет необходимость омеднения щеток. Поверхность всех щеток, токопровод которых закреплен способом пайки, подвергается омеднению. Омеднение щеток типов К1, К8 и К14 производится по требованию потребителей. Меднению подвергают часть поверхности щеток или поверхность отверстий под пайку или развальцовку. Размеры t и a омедненной части щетки не выходят за пределы значений, указанных в табл. 2.3. Омедненная часть щетки в направлении размера r превышает не более чем на 3 мм значения q, приведенные в табл. 2.12. В щетках без токопровода омедненная часть не превышает 1/3 размера r. Толщина медного покрытия в зависимости от размера щеток лежит в пределах 10—50 мкм. В отверстиях и пазах допускается уменьшение этой толщины на 50%.

2.3.7. Для подключения токопровода к электрической цепи машины его снабжают наконечником. Технические требования к наконечникам сформулированы в ГОСТ 12232.4-76, распространяющемся на штампованные наконечники, предназначенные для щеток машин всех типов и назначений, за исключением щеток машин малой мощности и летательных аппаратов. ГОСТ 12232.4-76 полностью соответствует требованиям стандарта СТ СЭВ 73-74 и публикации МЭК 136-2В. Установленные этими документами допустимые токовые нагрузки на наконечники зависят от конструкции (типа) и диаметра контактного стержня на бракете машины, к которому они присоединяются. Относящиеся к данному вопросу сведения приведены в табл. 2. 13.

Наконечники изготавлнваются из листовой мягкой или полутвердой меди марки М1 по ГОСТ 859-78 или из мягкой или полутвердой латуни марки Л63 по ГОСТ 15527-70. По внешнему виду они изготавливаются четырех типов: вилочные (В, ВГ), флажковые (Ф, ФГ, ФГП),

Т а б л и ц а 2.12. **Глубина сверления отверстий в щетке для заделки токопроводов (рис. 2.12)**

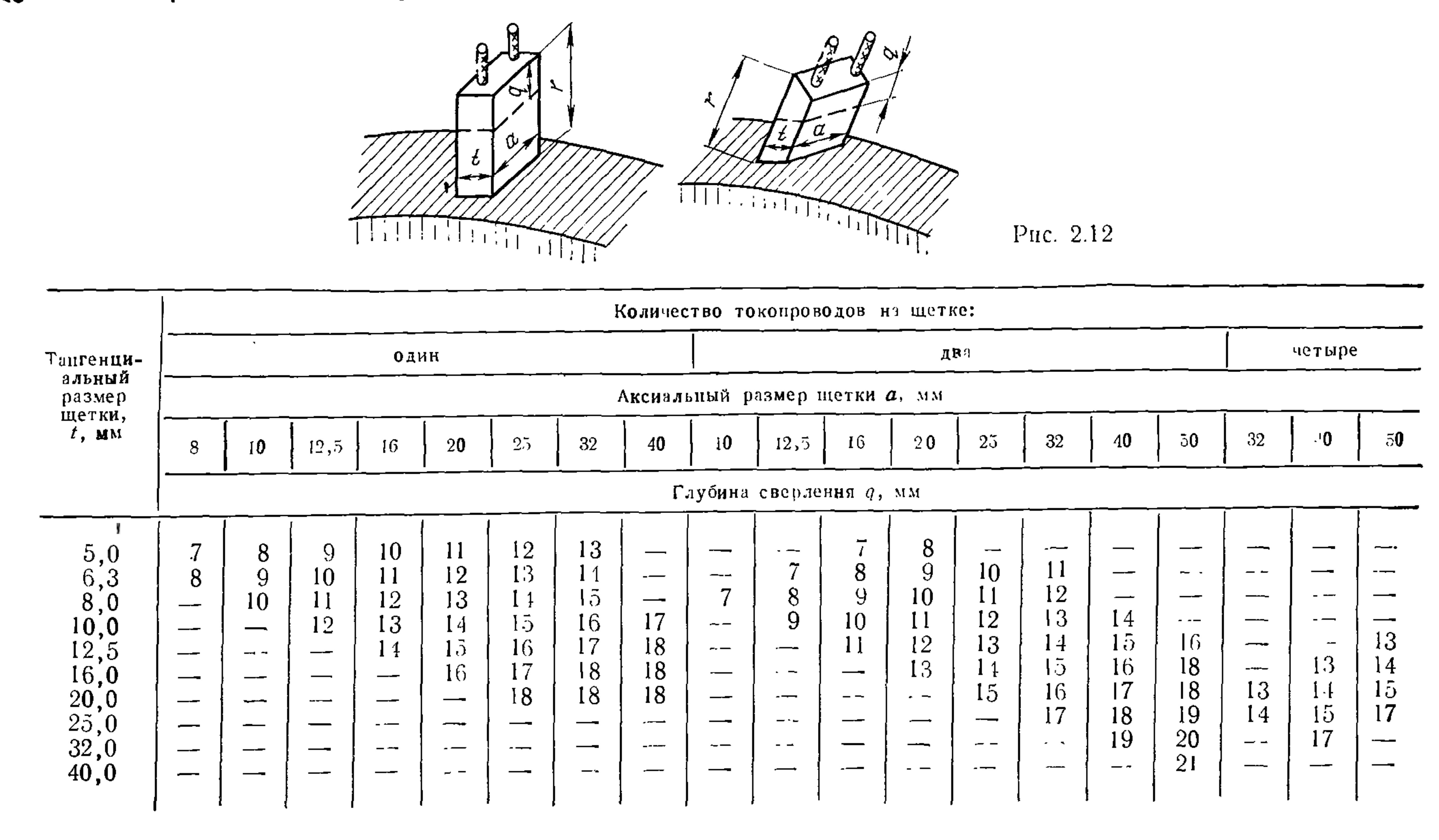


Рис. 2.12

Тангенциальный размер щетки, *t*, мм	Количество токопроводов на щетке:																		
	один								два								четыре		
	Аксиальный размер щетки *a*, мм																		
	8	10	12,5	16	20	25	32	40	10	12,5	16	20	25	32	40	50	32	40	50
	Глубина сверления *q*, мм																		
5,0	7	8	9	10	11	12	13	—	—	—	7	8	—	—	—	—	—	—	—
6,3	8	9	10	11	12	13	14	—	—	7	8	9	10	11	—	—	—	—	—
8,0	—	10	11	12	13	14	15	—	7	8	9	10	11	12	—	—	—	—	—
10,0	—	—	12	13	14	15	16	17	—	9	10	11	12	13	14	—	—	—	—
12,5	—	—	—	14	15	16	17	18	—	—	11	12	13	14	15	16	—	—	13
16,0	—	—	—	—	16	17	18	18	—	—	—	13	14	15	16	18	—	13	14
20,0	—	—	—	—	—	18	18	18	—	—	—	—	15	16	17	18	13	14	15
25,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	18	19	14	15	17
32,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	20	—	17	—
40,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	—	—	—

Таблица 2.13. Допустимые токовые нагрузки для наконечников различных типов, ГОСТ 12232.4-76

Диаметр контактного стержня, мм	Диаметр отверстия наконечника, мм	Тип наконечника: вилочный флажковый	двойной	пластинчатый
		Допустимая токовая нагрузка, А		
3,0	3,4	20	—	—
4,0	4,3	32	64	71
5,0	5,2	50	100	130
6,0	6,5	76	120	260
8,0	8,5	100	150	260
10,0	10,5	150	240	260

Примечание. Допускается кратковременная токовая перегрузка наконечников

двойные (Д, ДГ) и пластинчатые (П, ПГ), на каждый из которых установлен определенный стандарт (ГОСТ 12232.5-76—12232.8-76).

2.3.8. В перечисленных стандартах приведены чертежи заготовок, которые после прикрепления к токопроводу образуют наконечники, даны размеры их отдельных частей и, в соответствии с уже упоминавшейся системой установления взаимосвязей различных элементов, указаны размеры и количество токопроводов, сопрягаемых с каждым из наконечников. После того как наконечник присоединен, его расположение на токопроводе и размеры соответствуют показанным в табл. 2.14. Наконечники соединяются с токопроводами опрессовкой с последующей пайкой припоем ПОС-40 по ГОСТ 21930-76. Их поверхность покрывается оловом. В технически обоснованных случаях материал покрытия может заменяться другим или покрытие может отсутствовать.

2.3.9. Ассортимент накладок, используемых в отечественной промышленности для установки на щетках, показан в табл. 2.15. В соответствии с ГОСТ 12232.2-77 каждый из представленных в таблице типов накладок предназначен для определенных условий применения. Накладка типа НК-1 устанавливается на щетках, помещаемых в радиальные щеткодержатели с нажимными устройствами различных конструкций; накладка типа НК-2 предназначена для использования в аналогичных условиях, но имеет выступ, служащий ограничителем износа щетки. Накладки типов НК-3 и НК-4 монтируются на реактивных и волочащихся щетках, причем второй из них имеет упор, ограничивающий износ. Такие же упоры имеются и на накладках типа НК-5, устанавливаемых на радиальных неразрезных щетках, работающих в держателях с нажимными устройствами различных конструкций. Накладки типов НК-6 и НК-7 предназначены для радиальных щеток, эксплуатируемых при значительных вибрациях (тяговые двигатели), а типа НК-8 — для разрезных реактивных щеток, изготавливаемых путем индивидуального прессования. На соответствующих рисунках табл. 2.15 накладки типов НК-1, НК-2 и НК-5 показаны с центральным отверстием, в которое упирается кончик нажимного устройства щеткодержателя. По требованию потребителей это отверстие может отсутствовать. Не делают его также в накладках, устанавливаемых на щетках с размером $l=10$ мм.

2.3.10. Для изготовления накладок типов НК-1, НК-2, НК-3, НК-4 и НК-5 используется мягкая или полутвердая латунь марки Л-63 по

Таблица 2.14. **Расположение наконечников на**

Расположение на токопроводе	Тип[1]	*d*, мм	*D*, мм	*H*, мм	На щетке один токо сечением, мм²,			
					1	1,5	2,5	4,0
		Толщина						
	3В	3,4	8	18	0,6	—	—	—
	4В	4,3	8; 10	18; *20*	0,6	0,6	—	0,8
	5Е	5,2	12	20; *23*	0,8	—	1,0	0,8
	6В	6,5	14	*24*; 25	0,8	0,8	0,8	0,8
	8В	8,5	*14*; 18	*24*; 25	—	—	—	—
	3ВГ	3,4	8	18; *20*	0,6	0,6	—	—
	4ВГ	4,3	8; 10	20; *23*	0,6	0,6	—	—
	5ВГ	5,2	12	*24*; 25	0,8	0,8	—	0,8
	6ВГ	6,5	14	*24*; 28	0,8	0,8	0,8	0,8
	3Ф	3,4	8	9	0,6	0,6		—
	4Ф	4,3	8; 10	12	0,6; 0,8	—	0,8	0,8
	5Ф	5,2	10	*10*; 13	0,6; 0,8	0,8	0,8	—
	3ФГ	3,4	8	9	0,6	0,6	—	—
	4ФГ	4,3	8; 10	*10*; 12	0,6; 0,8	0,8	0,8	0,8
	5ФГ	5,2	10	*10*; 13	0,6; 0,8	0,8	0,8	—
	3ФГП	3,4	8	10	0,6	0,6		—
	4ФГП	4,3	10	10	0,8	—	—	—
	5ФГП	5,2	10	10	—	0,8	0,8	

токопроводе и их присоединительные размеры

провод до		На щетке два токопровода сечением, мм², до						На щетке четыре токопровода сечением, мм², до					
6,0	10,0	1	1,5	2,5	4,0	6,0	10,0	1	1,5	2,5	4,0	6,0	10,0
наконечника, *s*, мм													
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	0,8	—	—	—	—	0,6	—	—	—	—	—
0,8	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	1,0		1,0	1,0				
1,0; 1,2	1,0; 1,2	0,8	0,8	1,0	1,0; 1,2	1,0; 1,2	1,0; 1,2	0,8	1,0	1,0	—	—	—
1,0; 1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	-	0,6	0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	—	—	0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0; 1,2	1,0; 1,2	0,8	0,8	1,0	—	—	—	—	—	—		—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,6; 0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,8	—	0,6; 0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,6; 0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,6; 0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Расположение на токопроводе	Тип[1]	d, мм	D, мм	H, мм[2]	На щетке один токо сечением, мм², 1	1,5	2,5	4,0
		Толщина						
	5Д	5,2	*13*; 14	12	—	—	—	—
	6Д	6,5	18	16	—	—	—	—
	8Д	8,5	20; *21*	16	—	—	—	—
	4ДГ	4,3	12	11; *12*	—	—	—	—
	5ДГ	5,2	*13*; 14	12	—	—	—	—
	6ДГ	6,5	18	16	—	—	—	—
	8ДГ	8,5	*20*; 21	16	—	—	—	—
	5П	5,2	13	*12*; 13	—	—	—	—
	6П	6,5	17; *18*	22	—	—	—	—
	8П	8,5	18	*18*; 22	—	—	—	—
	4ПГ	4,3	*10*; 11	*11*; 12	—	—	—	—
	5ПГ	5,2	13	*12*; 13	—	—	—	—
	6ПГ	6,5	17; *18*	*13*; 18	—	—	—	—
	8ПГ	8,5	18	*18*; 22	—	—	—	—
	10ПГ	10,5	18	*22*; 25	—	—	—	—

Приложения:

1. Цифры в обозначении типа соответствуют диаметру контактного стержня, к
2. Размеры, набранные ***курсивом***, допускаются до 01.01.83.

провод до		На щетке два токопровода сечением, мм², до						На щетке четыре токопровода сечением, мм², до					
6,0	10,0	1	1,5	2,5	4,0	6,0	10,0	1	1,5	2,5	4,0	6,0	10,0
наконечника, *s*, мм													
—	—	0,8; 1,0	0,8	0,8	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	—	—
—	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	—	—
—	—	—	—	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	—	—
—	—	—	0,8	0,8 1,0	—	—	—	0,8; 1,0	0,8; 1,0	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	0,8; 1,0	—	—
—	—	—	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	—	—
—	—	—	—	—	1,0	—	—	1,0	1,0	1,0	1,0	—	—
—	—	—	—	—	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	2,5	3,0	4,0	5,0	—	—	3,5	4,0	5,0	5,0
—	—	—	—	—	3,0	4,0	5,0	—	—	—	4,0	5,0	5,0
—	—	—	2,5	2,5	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	2,5	3,0	4,0	5,0	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	2,5	3,0	4,0	5,0	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	3,0	4,0	5,0	—	—	—	4,0	5,0	5,0
—	—	—	—	2,5	3,0	—	5,0	—	—	—	4,0	5,0	—

которому присоединяется наконечник.

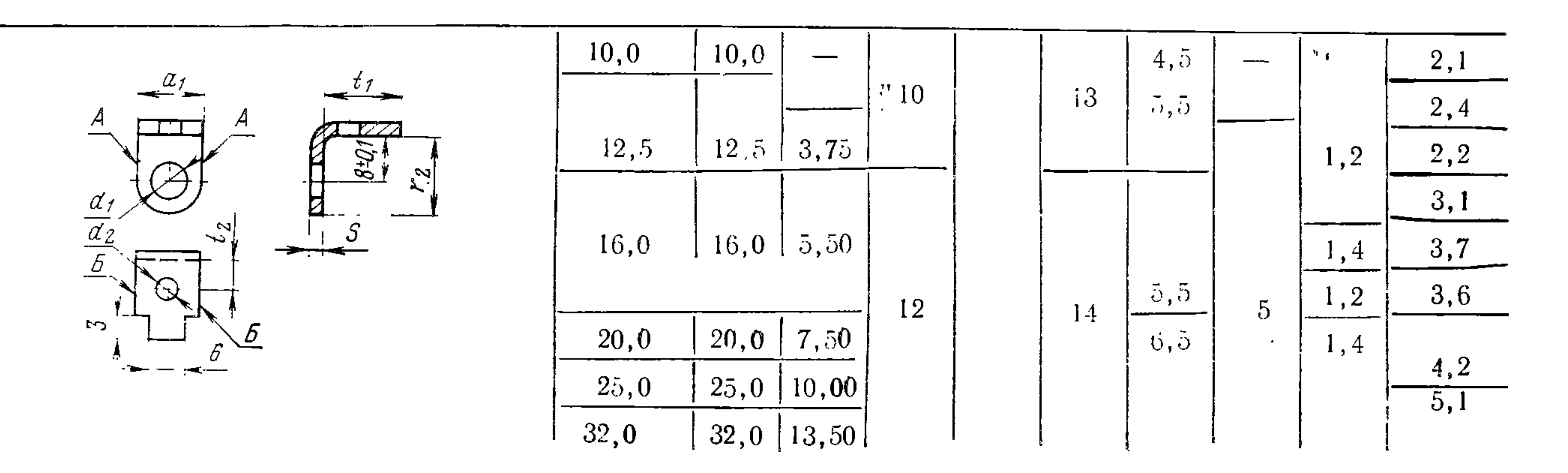
Таблица 2.15 **Накладки, устанавливаемые на щетках электрических машин**

Эскиз накладки

Тангенциальный размер щетки t, мм	Размеры накладок, мм								Расчетная масса 1000 шт., кг
	t_1	t_2	a_1	r_1	r_2	d_1	d_2	s	
Накладка типа НК-1									
10,0	6,5	—	10	8	13	4,5	—	0,8	1,1
				12*	17	5,5			3,6
			12	8	14	6,5	5		1,3
12,5	9,0	3,75	10		13	5,5			1,2
						4,5			1,1
		—		12*	17	5,5	—		1,5
16,0	12,5	3,75	12	8	11	4,5	5	1,0	1,7
				12*	18	6,5			2,1
		5,5		8	14				2,2
						4,5			2,5
				12	18	6,5			3,5
20,0	16,5	7,5		8	14	4,5			3,7
				12	18	6,5			4,1
			16	12	20	8,5			3,5

25,0	18,5	8,5	12	8	14	4,5	—	1,4	4,0
	21,5	—				6,5			
		10,0				4,5			4,5
			16	12*	18	6,5			4,4
				12	20	8,5			4,8
32,0	23,5	13,5				6,5			5,7 6,0

Накладка типа НК-2

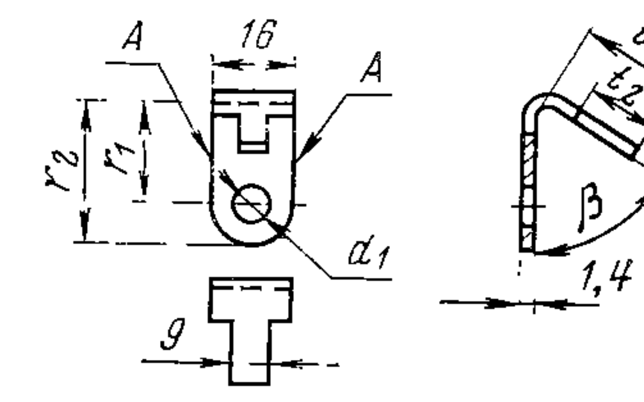


10,0	10,0	—	ʼʼ 10		13	4,5	—	ʼʼ	2,1
12,5	12,5	—				5,5			2,4
		3,75						1,2	2,2
16,0	16,0	5,50	12		14		5		3,1
								1,4	3,7
						5,5		1,2	3,6
20,0	20,0	7,50				6,5		1,4	4,2
25,0	25,0	10,00							5,1
32,0	32,0	13,50							

Продолжение табл. 2.15

Эскиз накладки	Тангенциальный размер щетки t, мм	Размеры накладок, мм								Расчетная масса 1000 шт., кг
		t_1	t_2	a_1	r_1	r_2	d_1	d_2	s	
Накладка типа НК-3**										
	10,0	6,5	—	12	18	24	4,5	75°	1,0	2,8
		12,5		10	16	21		60°		2,1
		7,0		12	18	24		75°	1,4	4,0
	12,5	9,0								3,1
		10,0		10	16	21		60°	1,0	2,7
									1,4	4,5
		20,0		12	18	24				6,0
	16,0	12,5	—	10	16	21	4,5		1,0	3,0
							6,5		1,4	4,2
				12	18	24		75°	1,0	3,3
		23,5		10	16	21	4,5	60°		5,0
				12	18	24	6,5			6,2
	20,0	16,5	—	16	20	28	6,5	75°	1,4	7,5
		18,5			25	33		60°		8,7
	25,0	21,5			20	28	8,5	75°		8,4
		24,0			25	33		60°		—

Накладка типа НК-4



10,0	10,0	8				6,5 8,5	75°**	—	9,4
	10,5			16	24		60°	—	5,4
	20,0	15				4,5			6,4
				20	28	6,5			6,6
12,5	12,5	10	—	16	24	8,5	75°	—	4,8
	13,5					4,5	60°		5,8
	20,0	15		20	28	6,5			7,0
16,0	16,0	12	—	16	24	8,5	75°	—	5,1
	17,5					4,5	60°		6,5
	20,0			20	28	6,5			7,0
						8,5	75°		5,6
20,0	22,5	15	—	16	24	4,5	60°	—	7,0
				25	33				7,1
25,0	25,0		—	20	38	6,5	75°	—	7,0
	28,0			25	33	8,5	60°		8,3

Продолжение табл. 2.15

Эскиз накладки	Тангенциальный размер щетки t, мм	Размеры накладок, мм								Расчетная масса 1000 шт., кг
		t_1	t_2	a_1	r_1	r_2	d_1	d_2	s	
	Накладка типа НК-5									
	16,0	20	12	—	—	—	—	—	—	3,7
	20,0	23	15	—	—	—	—	—	—	4,0
	25,0	28	20	—	—	—	—	—	—	4,5
	32,0	35	27	—	—	—	—	—	—	5,3
	Накладка типа НК-6 (I)									
	16,0	15	13	48	46	36	5,0	6,0	—	6,0
				31	29	21	3,8	4,0		

Накладка типа НК-6 (II)

16,0	15	13	31	29	21	3,0	4,0	80	6,0
			38	46	36				
20,0	19	17	38	36	26			10,0	9,0
			48	46	36				
25,0	23	22	38	36	26			12,5	13.0
			48	46	36	5,0	6,0		

Накладка типа НК-7 (I)

25,0	23	21	38	36	26	5	6	18	11
			48	46	36				—

Продолжение табл. 2.15

Эскиз накладки	Тангенциальный размер щетки t, мм	Размеры накладок, мм								Расчетная масса 1000 шт., кг
		t_1	t_2	a_1	r_1	r_2	d_1	d_2	s	
Накладка типа НК-7 (II)										
	20,0	18	10	38	36	26	5	6	18	10
	25,0	23	12,5	48	46	36			22	13
Накладка типа НК-8 (I)										
	8,0	7,3	2,8	6,0	8,0	—	—	—	—	0,3
	10,0	8,7	3,0	8,4	10,4					0,4
	12,5	9,5	3,8							0,5

Накладка типа НК-8 (II) **

	6,3	6,4	2,4	9,0	—	6,5	—	22°	0,5	0,3
	8,0	7,0	2,8	8,4						
	8,0	7,9	3,8			6,9				0,4
			3,5	9,0						
	10,0	8,7	3,0	8,4						
	16,0	12,3	5,0	9,0		10,0	—	24°	0,8	1,6

* Накладки для щеток, токопровод которых заделан способом развальцовки.

** Для накладок типов НК-3; НК-4 и НК-8 (II) в графе d_2 указаны значения углов скоса.

Примечания: 1. Предельные отклонения размеров и углов: для размера $r_1 \pm 0,1$ мм; для углов $\pm 2°$; для размера s — в пределах допуска на толщину материала по ГОСТ 2203-75 и ГОСТ 931-70 все прочие размеры — для накладок типов НК-1, НК-2, НК-3, НК-4, НК-5 и НК-8, охватывающих — по A_7, охватываемых — по B_7.

2. Несимметричность поверхностей *А* и *Б* относительно отверстий для накладок типов НК-1, НК-2, НК-3, НК-4, НК-5 не более 0,43 мм.

Т а б л и ц а 2.16. **Ассортимент и области применения шнуров и трубок, используемых для изоляции токопроводов щеток**

Марка или обозначение	Диаметр внутренний, мм		Диаметр наружный, мм	Сечение токопровода, мм²	Масса 1 м, г	Область применения
	номинальный	допуск				
Шнур-чулок технический хлопчатобумажный (ОСТ 17.184-72)						
ШХБЧ-0,5	0,5	±0,1	—	0,015	0,75	Применяются для изоляции токопроводов щеток, эксплуатируемых при низких температурах
ШХБЧ-0,7	0,7		—	0,025—0,090	0,95	
ШХБЧ-1,0	1,0	±0,2	—	0,025—0,090		
ШХБЧ-1,5	1,5		—	0,180—0,250	0,92	
ШХБЧ-2,0	2,0		—	0,300—0,500	1,24	
ШХБЧ-2,5	2,5	±0,5	—	0,700—0,750	1,24	
ШБХЧ-3,0	3,0		—	1,00—1,500	2,45	
ШБХЧ-3,5	3,5	±0,2	—	1,600—2,000	2,20	
ШБХЧ-4,0	4,0		—	2,500—3,200	2,57	
ШБХЧ-5,0	5,0		—	4,000—6,000	3,89	
ШБХЧ-5,5	5,5		—	6,000	3,24	
ШБХЧ-6,0	6,0		—	8,000	3,80	
ШВХЧ-7,0	7,0	±0,5	—	10,000	3,77	
Трубки электроизоляционные из стекловолокон (ГОСТ 10699-80)						
ТКС-1,00	1,00		1,80*	0,050—0,090	—	Применяются для изоляции токопроводов щеток, работающих при температурах от —50 до +180° С на машинах постоянного и перемен-
ТКС-1,50	1,50		2,30*	0,180—0,300	—	
ТКС-2,00	2,00		2,80*	0,350	—	
ТКС-2,50	2,50	±0,10	3,30*	0,500—0,750	—	

ТКС-3,00	3,00		3,80*	1,000—1,500	—	ного тока напряжением до 660 В при частоте до 5000 Гц
ТКС-3,50	3,50		4,30*	1,600—2,00	—	
ТКС-4,00	4,00		5,00**	2,500—3,200	—	
ТКС-4,50	4,50		5,50**	4,000	—	
ТКС-5,00	5,00	+0,40 0,20	6,00**	6,000	—	
ТКС-6,00	6,00	+0,50	7,00**	8,000	—	
ТКС-7,00	7,00	—0,40	8,20**	10,000	—	

Трубки электроизоляционные из кремнийорганической резины ТУ16-503-031-80

ТКР-1,0	1,0	+0,4	2,8***	0,05—0,09	—	Применяются для изоляции токопроводов щеток, работающих при температурах от —60 до +180° С на машинах постоянного тока напряжением до 600 В
ТКР-1,5	1,5		3,3***	0,18—0,30	—	
ТКР-2,0	2,0		3,8***	0,35	—	
ТКР-2,5	2,5	+0,7	4,3***	0,50—0,75	—	
ТКР-3,0	3,0		4,8***	1,00—1,50	—	
ТКР-3,5	3,5		5,3***	1,60—2,00	—	
ТКР-4,0	4,0		5,8***	2,50—3,20	—	
ТКР-4,5	4,5	+0,8	6,3***	4,00	—	
ТКР-5,0	5,0		7,6**	6,00	—	
ТКР-6,0	6,0		8,6**	8,00	—	
ТКР-7,0	7,0		9,6**	10,00	—	

* Предельное отклонение данного размера ±0,30 мм.
** Предельное отклонение данного размера ±0,40 мм.
*** Предельное отклонение данного размера ±0,20 мм.

Таблица 2.17. **Ассортимент и области применения керамических бус для изоляции токопроводов щеток, ТУ 16.528.173-78**

Общий вид	Марка	Размеры, мм				Сечение токопровода, мм²	Масса 100 шт., г	Область применения
		d	d_1	D	H			
				Бусы цилиндрические				
	БФЦ-2/4	2	—	4	4	0,18—0,35	9,5	Применяются для изоляции токопроводов щеток, работающих при температурах от −60 до +400° С при относительной влажности воздуха до 80% на машинах переменного тока напряжением до 250 В при частоте 50 Гц
	БФЦ-3/6	3	—	6	6	0,50—1,25	32,0	
	БФЦ-4/10	4	—	8	10	1,50—3,20	95,0	
	БФЦ-6/10	6	—	10	10	4,00—8,00	126,0	
	БФЦ-8/10	8	—	12	10	10,00	130,0	
				Бусы чешуйчатые				
	БФЧ-2/4	2,0	3,5	6,6	4,0	0,18—0,35	13,6	То же на машинах переменного тока напряжением до 500 В
	БФЧ-3/6	3,0	4,5	9,0	6,0	0,50—1,25	35,4	
	БФЧ-4/6	4,0	5,5	10,0	6,0	1,50—3,20	37,4	
	БФЧ-6/8	6,0	8,0	12,0	8,0	4,00—8,00	74,6	

ГОСТ 15527-70 или холоднокатаная сталь марки 30 по ГОСТ 1050-74. Накладки типов НК-6 и НК-7 изготавливаются из резины твердых марок. Материалом для накладок типа НК-8 (I) служит нагартованная лента «Н» из стали марки 09Х15Н8Ю по ГОСТ 4986-79. Эти накладки допускается изготавливать из мягкой или полутвердой латуни (ленты) марки Л-63. Накладки типа НК-8 (II) могут быть также изготовлены из бериллиевой бронзы марки Бр.Б-2 по ГОСТ 493-79. По качеству поверхности накладки соответствуют требованиям ГОСТ 1789-70 и ГОСТ 4986-79, а те из них, которые изготовлены из стали марки 30, имеют антикоррозийное покрытие.

2.3.11. Для предотвращения контакта частей электрических машин с имеющимися на щетках токопроводами последние могут снабжаться изоляцией, которая выполняется в виде шнуров, трубок и керамических бус, нанизываемых на соответствующий участок токопровода. Типы и размеры изоляционных деталей и области использования каждой из них установлены ОСТ 16.0.684.227-77, сведения из которого воспроизведены в табл. 2.16 и 2.17. Длина изоляции, накладываемой на токопровод, и допуски на нее установлены следующими:

Длина изоляции, мм	Предельное отклонение, мм
12, 15, 20, 25, 28, 30, 32, 36, 40	+3
44, 50, 55, 58, 60, 67, 70, 78, 80	+5
90, 95, 100	
106, 118, 130	+8

2.3.12. Для фиксации на соответствующем участке токопровода положения шнуров и трубок последние закрепляются на нем с помощью металлических манжеток. Нормируемый ОСТ 16.0.684.221-77 ассортимент этих манжеток и основные сведения о них приведены в табл. 2.18. Манжетки изготавливаются из ленты толщиной 0,3 мм. Материал ленты — медь марки М3 по ГОСТ 1173-77.

Таблица 2.18. **Манжетки, фиксирующие положение изоляционных шнуров и трубок на токопроводах ОСТ 16.0.684.221-77 (рис. 2.13)**

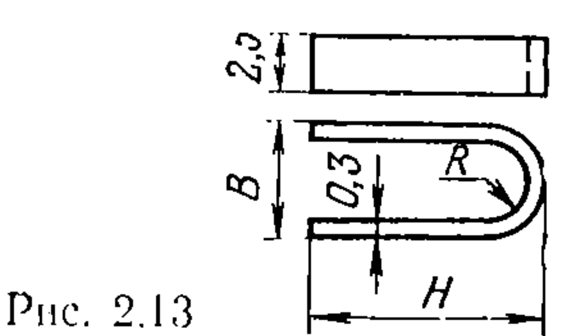


Рис. 2.13

B, мм		*R*, мм	*H*, мм		Сечение токопровода, мм²	Масса 1000 шт., г
номинальное значение	предельное отклонение		номинальное значение	предельное отклонение		
2,8	±0,12	1,1	3,4		0,3—0,5	54,0
3,6	±0,15	1,5	4,0	±0,15	0,7—1,6	65,0
4,6		2,0	5,7		2,0—4,0	92,0
6,0		2,2	6,0		4,0—6,0	96,0
9,0	±0,20	4,2	8,0	±0,20	8,0—10,0	138,0

2.4. Контроль качества изготовления щеток

2.4.1. Качество щеток определяется свойствами использованных для их изготовления щеточных материалов, соблюдением требований производственно-технической документации, регламентирующей технологические процессы переработки исходных материалов и сборку готовых изделий. Сведения о методах определения свойств щеточных материалов и анализе получаемых при этом данных излагались в § 1.4 и 1.5. Факт передачи испытанных материалов для последующей механической обработки и превращения их в щетки свидетельствует о том, что материалы удовлетворяют требованиям соответствующих стандартов и технических условий. В настоящем параграфе речь пойдет о методах контроля качества готовых щеток, т. е. о проверке правильности выполнения технологических операций по механической обработке щеточных материалов, превращения их в заготовки щеток и армировании последних. Контроль этой части технологического процесса изготовления щеток осуществляется путем проверки их геометрических размеров, соответствия чертежу, внешнего вида, переходного сопротивления между телом изделия и токопроводом и прочности их соединения. Перечисленные виды проверок входят в программу приемо-сдаточных испытаний, осуществляемых на щеточных предприятиях перед отправкой продукции заказчикам.

2.4.2. Проверка внешнего вида щеток и наличия на них маркировки производится визуально. При этом должно быть установлено, что на теле изделий отсутствуют раковины, трещины, расслоения и посторонние включения. На ребрах изделий не должно находиться более пяти сколов глубиной более 0,5 мм. Этот же показатель распространяется на каждую часть щетки разрезной конструкции.

2.4.3. Проверка геометрических размеров щеток производится по методу, изложенному, в ГОСТ 9506.1-74, соответствующему стандарту СТ СЭВ 137-74. При измерениях следует применять штангенциркули типов ШЦ-1 или ШЦ-2 по ГОСТ 166-80, микрометры типов МК и МЛ по ГОСТ 6507-78, линейки мерительные по ГОСТ 427-75, угломер с нониусом по ГОСТ 5378-66 и калибры, изготовленные по соответствующим чертежам.

Определение тангенциального, аксиального и радиального размеров контролируемого изделия производится в зоне контактной и верхней поверхностей. Используемый при этом штангенциркуль или микрометр должны обладать соответствующими пределами измерений и нониусом, позволяющим производить отсчеты с точностью, предусматриваемой табл. 2.3. Измерение тангенциального и аксиального размеров омедненных щеток производится в той их части, на которой расположен слой омеднения. Толщина этого слоя определяется по разности результатов измерений микрометром омедненной и неомедненной поверхностей. Длина токопровода измеряется с помощью мерительной линейки; скосы граней и поверхностей щеток проверяются с помощью угломеров, а калибры применяются при проверке сделанных на щетке разного рода прорезей (например, в изделиях типов К8-3, К10-3, К11-3 и др.).

2.4.4. Метод определения переходного электрического сопротивления между телом щетки и токопроводом нормирован ГОСТ 9506.6-74, учитывающим требования публикации МЭК 413-72 и соответствующим стандарту СТ СЭВ 137-74. Схемы проведения необходимых измерений показаны на рис. 2.14. Одна часть входящих в схему элементов является стандартной, а другая требует индивидуального изготовления. Зажимное устройство для присоединения щетки к источнику тока должно иметь эксплуатационную документацию по СТ СЭВ 1798-79 и

обеспечивать надежный контакт в месте, расположенном вблизи контактной поверхности. Амперметр класса точности не ниже 1,5; милливольтметр по ГОСТ 8711-78 класса не ниже 1,5 или потенциометр по ГОСТ 9245-79. Игольчатые электроды следует изготовить из нержавеющей стали и вмонтировать в рукоятку из изоляционного материала. Для проведения измерений проверяемое изделие закрепляют в соответствующих зажимных устройствах и устанавливаются в цепи ток 10 А. Одним из игольчатых электродов касаются токопровода на расстоянии 5 мм от тела щетки, а другим — прикасаются к этому телу в точках, расположение которых показано на рис. 2.15. В местах присоединения электродов поверхности должны быть чистыми, а в случае, если проверяется изделие, токопровод которого заделан по способу развальцовки, электрод следует присоединить к той боковой поверхности, где токопровод непосредственно опирается на головку раз-

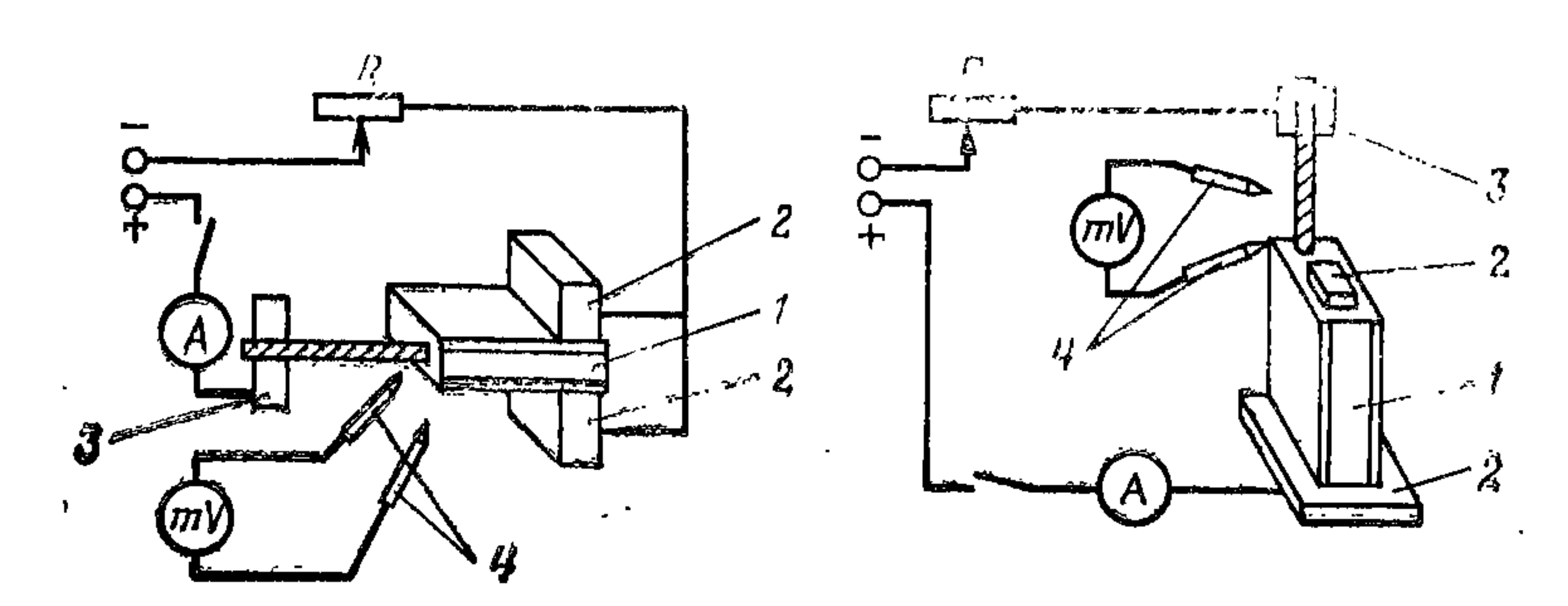


Рис. 2.14. Рекомендуемые схемы определения переходного сопротивления между телом щетки и токоведущим проводом:

1 — щетка; *2* — устройство для зажима щетки; *3* — устройство для зажима токоведущего провода; *4* — игольчатые электроды

вальцовываемой трубки. Присоединив электроды, измеряют милливольтметром падение напряжения U и вычисляют контролируемое значение переходного сопротивления между телом щетки и токопроводом $R_п$ по формуле

$$R_п = U/I,$$

где U — измеренное падение напряжения, мВ; I — ток, А.

Вычисленная указанным образом величина для щеток разных марок и размеров должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 2.19. Указанные здесь значения относятся к случаю, когда щетка армирована одним токопроводом. При большем их числе определение производится для каждого токопровода в отдельности до соединения их общим наконечником.

2.4.5. Проверка прочности крепления токопровода к телу щетки производится для оценки механической характеристики этого узла. Критерием оценки служит усилие вырывания, которое зависит от тангенциального и аксиального размеров изделия. Значения этой величины должны быть не менее указанных в табл. 2.20.

Метод определения указанных в таблице значений установлен ГОСТ 9506.2-74, учитывающим требования публикации МЭК 413-72 и соответствующим стандарту СТ СЭВ 137-74. Для соответствующих испытаний используются разрывные машины, обеспечивающие равномерное перемещение подвижного захвата со скоростью до 100 мм/с

Таблица 2.19. **Допустимые значения переходного электрического сопротивления между щеткой и каждым токоведущим проводом (ГОСТ 2332-75)**

Марка щеток	Площадь поперечного сечения щетки, см², до 0,2	0,21—0,50	0,51—1,00	1,10—3,00	более 3,00
	Переходное сопротивление, мОм, не более				
Г3, Г21, Г22, 611М, 6110М, ЭГ2а, ЭГ2АФ, ЭГ4, ЭГ8, ЭГ14, ЭГ51 ЭГ61, ЭГ71, ЭГ74, ЭГ74АФ, ЭГ85, М1, М3, М6 М20, МГ4, МГС5	15,00	10,00	5,00	2,50	1,25
МГ, МГ2, МГСО, МГ64	10,00	3,00	2,00	1,00	0,50

Примечания: 1. Для щеток марки Г20 значения $R_п$ не должны превышать 5 мОм при креплении токоведущего провода пайкой или развальцовкой и 3 мОм — при креплении конопаткой.

2. У графитных и графитированных щеток, токоведущий провод которых заделан развальцовкой, значение $R_п$ не должно быть более 10 мОм.

Таблица 2.20. **Нормируемое значение усилия вырывания токоведущего провода из щетки ГОСТ 2332-75**

Тангенциальный размер щеток *l*, мм	Аксиальный размер щеток *a*, мм: от 4 до 10	более 10 до 16	более 16 до 32	более 32
	Усилие выравнивания Н, не менее			
От 4,0 до 5,0	20	20	20	—
Более 5,0 до 10,0	40	70	70	70
Более 10,0 до 12,5	—	70	120	120
Более 12,5	—	120	120	120

Примечание. Для щеток марок Г20, 611М, 6110М и ЭГ4 допускается снижать указанные значения усилия вырывания на 30%.

и измерение нагрузки с точностью ±2,5%. Кроме разрывной машины для испытаний необходимо изготовить захватывающее устройство, вилку и набор упорных планок (рис. 2.16). Назначение захватывающего устройства состоит в том, чтобы надежно удерживать токопровод при приложении нагрузки, не допуская повреждения составляющих его отдельных проволочек. Последнее достигается за счет придания губкам захвата профиля, показанного на рис. 2.8,*б*. Тщательного изготовления требуют упорные планки, профиль опорной поверхности которых (угол β) соответствует типу испытуемых изделий. Так, планка, показанная на рис. 2.8,*д*, применима при испытании щеток типов К1, К2, К8, К10, К11, К14 и К20; планка рис. 2.8,*в* — для щеток ти-

пов КЗ и т. д. Ширина прорези в упорной планке должна быть на 0,5—1,0 мм больше диаметра отверстия в теле щетки, в которое заделан токопровод.

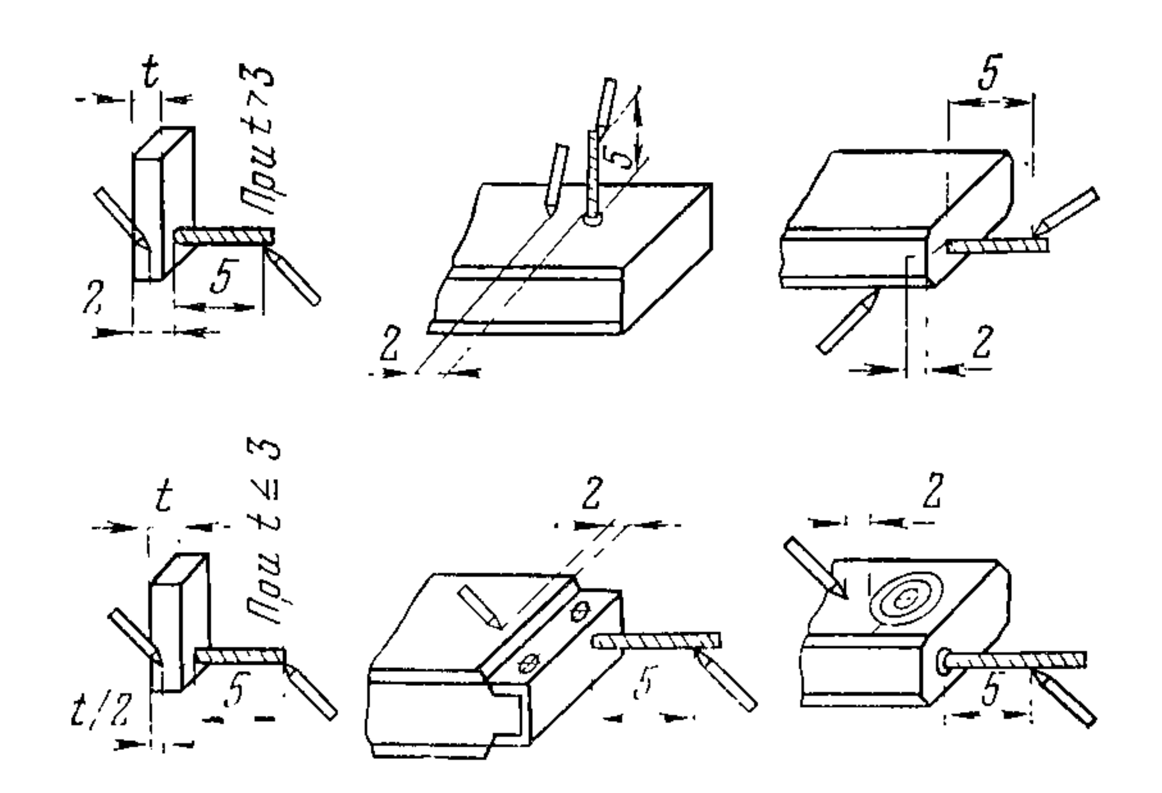


Рис. 2.15. Расположение мест подключения электродов при определении переходного сопротивления между щеткой и токоведущим проводом

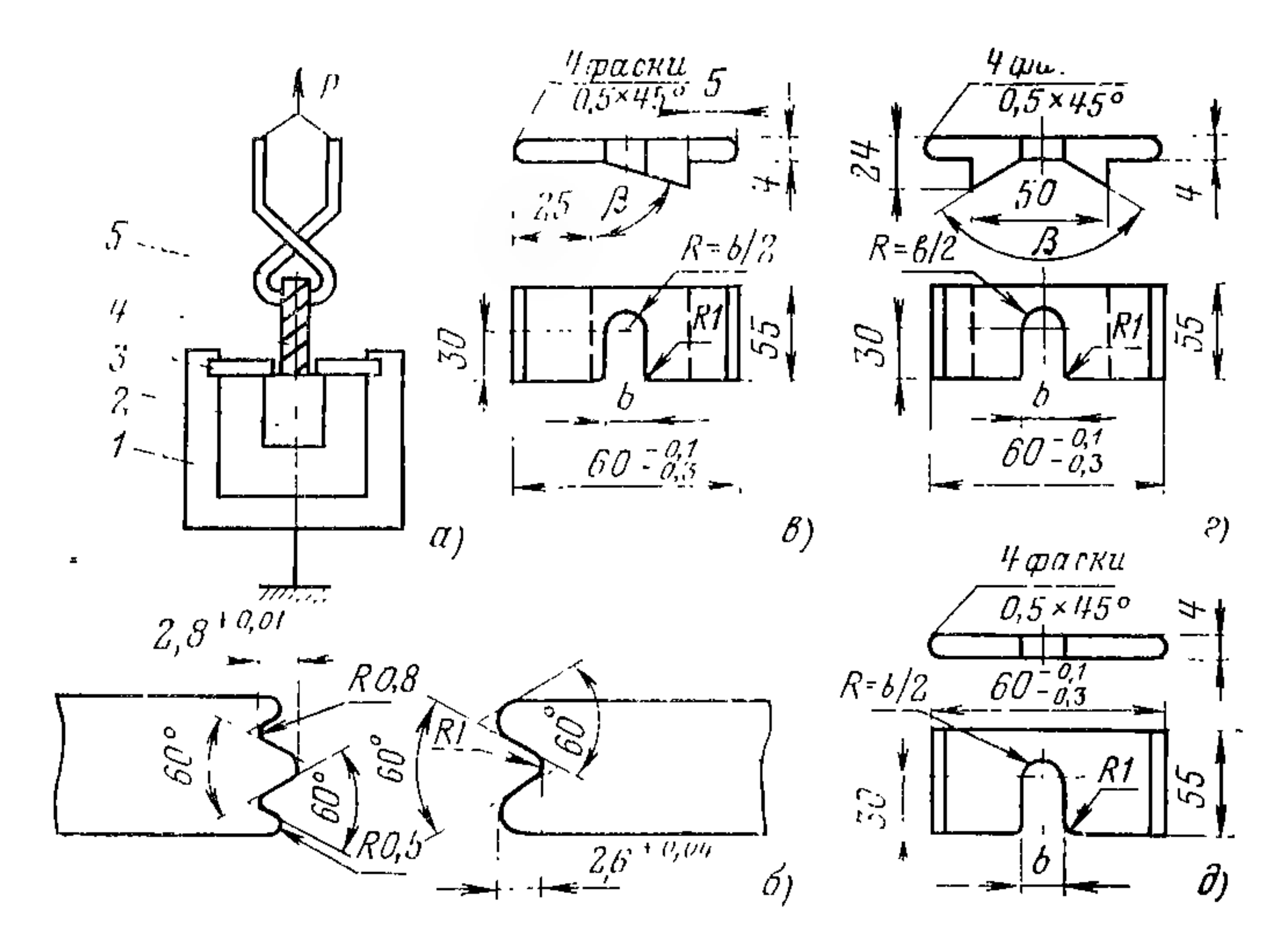


Рис. 2.16. Схема определения прочности крепления токоведущего провода (*а*), профиль губок захвата (*б*), упорные планки (*в*, *г*, *д*):

1 — вилка; *2* — щетка; *3* — упорная планка; *4* — токопровод; *5* — захват

Проведение испытаний начинают с выбора соответствующей упорной планки, которая должна ориентировать испытуемую щетку так, чтобы направление оси токопровода совпало с направлением приложения разрывающей силы, а края прорези упорной планки не перекры-

вали отверстия в теле изделия, в котором провод закреплен. Введя провод в прорезь упорной планки, его зажимают в захвате и прикладывают усилие, значение которого должно соответствовать указанному в табл. 2.16. Щетки считаются выдержавшими испытания, если токопровод не сдвинулся и не выдернулся. Обрыв провода или механическое повреждение тела изделия (трещина, скол, разрушение) браковочным признаком не является.

2.4.6. Описанные в первом и втором разделах настоящего справочника испытания щеточных материалов и готовых изделий в полном объеме осуществляются на предприятиях, изготавливающих рассматриваемую продукцию. О том, что предусмотренные соответствующими стандартами показатели находятся в пределах установленных норм, свидетельствуют записи в паспортах, с которыми продукция поступает к потребителям. Поступившие на предприятие заказчика щетки могут передаваться в цеха для эксплуатации без каких-либо дополнительных проверок. Однако с целью повышения ответственности поставщиков за качество выпускаемых щеток п. 3.7 ГОСТ 2332-75 предоставляет их получателям право проведения у себя входного контроля. Подобному контролю может подвергаться каждая поступающая к потребителю партия щеток в количестве не менее 300 шт. Программа испытаний при входном контроле совпадает с программой приемо-сдаточных испытаний, которая в соответствии с ГОСТ 2332-75 включает следующие виды проверок:

Вид испытаний	Количество образцов
Проверка внешнего вида и наличия маркировки	25
Проверка геометрических размеров и соответствия чертежу . . .	25
Проверка переходного сопротивления между щеткой и токопроводом	12
Проверка прочности крепления токопровода	12
Проверка удельного электрического сопротивления	12
Проверка твердости	12
Проверка предела прочности при сжатии	10
Проверка содержания золы . . .	5

Изложенные в соответствующих разделах настоящего справочника сведения о методах испытаний щеточной продукции позволяют персоналу служб главных электриков промышленных предприятий реализовать предоставляемое им ГОСТ 2332-75 право на проведение входного контроля получаемых щеток.

2.5. Области применения щеток, изготавливаемых промышленностью социалистических стран

2.5.1. В изложенной ранее информации о щеточных материалах отсутствовали сведения о возможных областях использования изготовленных из них щеток. В связи с тем, что знание классификационных признаков щеточных материалов и численных значений их технических

параметров является недостаточным для решения вопроса о выборе марки щеток для конкретных условий эксплуатации, их изготовители выдают дополнительную информацию о возможных областях использования своей продукции. Подобная информация содержится, главным образом, в каталожных изданиях. Ее включают также в технические условия и стандарты на щетки узкоспециализированного назначения. На основе анализа подобной информации о щеточной продукции социалистических стран далее излагаются сведения о рекомендуемых областях ее применения. Изложение будет вестись в той последовательности расположения различных марок щеток, которую они занимают в табл. 1.5—1.11.

2.5.2. Изготавливаемые промышленностью СССР щетки электрических машин в основной своей массе предназначены для эксплуатации в условиях, нормированных для климатического исполнения У, категорий 2, 3 и 4 по СТ СЭВ 460-77. По согласованию между разработчиком электрической машины и поставщиком щеток допускается их применение в условиях, нормированных для других климатических исполнений и категорий названного стандарта. Что касается возможных областей использования изготавливаемых отечественной промышленностью щеток различных марок, то они названы ниже.

Г21 — универсальные двигатели бытовых электроприборов и электроинструментов.

Г22 — маломощные двигатели постоянного тока и многофазные коллекторные двигатели параллельного возбуждения с двойным комплектом щеток.

Г3 — машины постоянного тока напряжением до 220 В и мощностью до 1000 кВт, сварочные генераторы, кольца возбуждения синхронных генераторов, контактные кольца асинхронных двигателей и одноякорных преобразователей.

Г20 — машины постоянного тока и коллекторные машины переменного тока с низкими значениями трансформаторной и реактивной ЭДС.

ЭГ2А — тяговые двигатели подвижного состава железных дорог (старые типы), промышленного и городского транспорта; генераторы и двигатели с резко выраженной неравномерностью нагрузки (прокатное электрооборудование).

ЭГ2АФ — контактные кольца минусовой полярности турбогенераторов мощностью 300 и 500 МВт и стальные контактные кольца обеих полярностей синхронных компенсаторов с воздушным охлаждением.

ЭГ4 — машины постоянного тока с резко выраженной неравномерностью нагрузки, гребные двигатели, электропривод вентиляторов, машины универсального назначения; контактные кольца цепей возбуждения турбогенераторов мощностью менее 200 мВт и одноякорных преобразователей.

ЭГ8 — универсальные малогабаритные двигатели с большим числом оборотов и электромашинные усилители.

ЭГ14 — электропривод различного назначения, в том числе мощные двигатели и генераторы с резко выраженной неравномерностью нагрузок, гребные двигатели, сварочные и тяговые генераторы, крановые двигатели постоянного тока.

ЭГ51 — мощные электрические машины прокатного производства и судовое электрооборудование.

ЭГ61 — мощные тяговые двигатели современных электровозов и мотор-вагонов.

ЭГ71 — машины постоянного тока с утяжелеными условиями коммутации.

ЭГ74— машины постоянного тока с наиболее тяжелыми условиями коммутации и резко выраженной неравномерностью прикладываемых нагрузок; возможно применение на мощных тяговых двигателях некоторых типов современных локомотивов.

ЭГ74АФ— бронзовые контактные кольца обеих полярностей синхронных компенсаторов с водородным охлаждением.

ЭГ85— машины с наиболее тяжелыми условиями коммутации и резко выраженной неравномерностью прикладываемых нагрузок.

М1— контактные кольца синхронных генераторов, одноякорных преобразователей и асинхронных крановых двигателей; зарядные генераторы напряжением менее 60 В и стартеры напряжением 20—60 В.

М3, М20 — тяговые двигатели электрокар, зарядные генераторы напряжением 60—80 В и контактные кольца асинхронных двигателей.

М6 — двигатели и генераторы малой мощности напряжением 25 — 80 В.

МГ — стартеры напряжением до 6 В, машины низкого напряжения с высокой плотностью тока в скользящем контакте и малой окружной скоростью коллектора, контактные кольца синхронных и асинхронных двигателей.

МГ2 – контактные кольца асинхронных двигателей и одноякорных преобразователей; зарядные агрегаты напряжением 6—12 В, тахогенераторы и сельсины.

МГ4 — контактные кольца одноякорных преобразователей, асинхронных двигателей и синхронных генераторов, машины постоянного тока напряжением до 40 В.

МГС5 — автомобильные стартеры.

МГСО — низковольтные машины и автотракторные стартеры. Применяются также в качестве контактного элемента, работающего в среде жидкого диэлектрика при окружной скорости коллектора более 10 м/с.

611М — износоустойчивая щетка для ненапряженных в коммутационном отношении машин постоянного тока.

611ОМ — контактные кольца плюсовой и минусовой полярности турбогенераторов мощностью до 300 МВт и кольца плюсовой полярности турбогенераторов мощностью 300 и 500 МВт.

Г30 — коллекторные двигатели переменного тока со средним значением трансформаторной ЭДС, питаемые со стороны ротора, преобразователи частоты.

Г33 — универсальные коллекторные двигатели, используемые в электроинструментах и бытовых электроприборах.

Г26 — коллекторные двигатели переменного тока с низким значением трансформаторной ЭДС, питаемые со стороны ротора.

ЭГ4Э — генераторы и двигатели серии П, эксплуатируемые в металлургической промышленности; синхронные генераторы передвижных электроустановок.

ЭГ13, ЭГ13П — автотракторные генераторы постоянного тока.

ЭГ17 – двигатели сетевых электрических бритв переменного и постоянного тока.

ЭГ50 — автотракторные генераторы постоянного тока.

ЭГ51А — автотракторные генераторы переменного тока.

ЭГ61А — перспективная марка для тяговых двигателей современных типов электровозов и тепловозов.

ЭГ62 — тяговые электродвигатели городского транспорта (трамвай, троллейбус, метро).

ЭГ63 — ряд типов электрических машин серии ДП, работающих в кратковременном режиме, температура коллекторов которых достигает 350° С.

ЭГ74К — мощные закрытые электрические машины с кремнийорганической изоляцией.

ЭГ75 — тяговые двигатели и высоковольтные вспомогательные машины современных магистральных электровозов.

ЭГ84 — электрические машины вагонов метрополитена, трамваев, троллейбусов.

ЭГ86 — высокомоментные машины постоянного тока с кремнийорганической изоляцией.

М1А — автотракторные генераторы переменного тока.

МГ4С — автотракторные стартеры.

МГС9А — автотракторные двигатели вспомогательных механизмов.

МГС20 — автотракторные стартеры.

МГС21 — для цепей заземления колесных пар электровозов.

МГС51, МГСОА — автотракторные стартеры.

МГС01 — автотракторные стартеры с торцевыми коллекторами.

96-0 — автотракторные двигатели вспомогательных механизмов.

2.5.3. Для щеток, изготавливаемых в ГДР, предприятие «Электроколе Лихтенберг», рекомендует следующие области применения:

К4, К5, К8 — микродвигатели с продороженными коллекторами.

К6, К7, К9 — микродвигатели с непродороженными коллекторами.

G4, G18 — коллекторные двигатели трехфазного тока.

G7, G9 — крупные машины постоянного тока.

G8 — микродвигатели с продороженными коллекторами и коллекторные двигатели трехфазного тока.

G13 — вспомогательные автомобильные двигатели.

G19, Е3 — стальные контактные кольца.

Е5, Е8 — двигатели постоянного тока.

Е9 — однофазные тяговые двигатели железнодорожного транспорта.

Е10 — машины постоянного тока и контактные кольца.

Е11 — тяговые двигатели постоянного тока железнодорожиого транспорта.

Е13 — коллекторные двигатели трехфазного тока.

Е14 — крупные машины постоянного тока.

Е15, Е16, Е18, Е21, Е23, Е26 — машины постоянного тока.

Е24, Е25 — машины постоянного тока и коллекторные двигатели трехфазного тока.

Е29 — контактные кольца из бронзы.

М6, М7, М9, М31 — контактные кольца.

М10, М11, М21, М27 — машины постоянного тока.

М15, М17, М18 — автомобильные стартеры.

М32 — машины постоянного тока и контактные кольца.

2.5.4. Для щеток, изготавливаемых в ПНР, рекомендованы следующие области применения:

W25 — универсальные двигатели ручного электроинструмента, бытовых электроприборов и электромузыкальных инструментов.

W50 — то же, что у W25, и машины постоянного тока напряжением 110—440 В, электролизеры, возбудители турбогенераторов, одноякорные преобразователи, стационарные машины однофазного тока.

G12 — генераторы питания гальванических ванн и зарядные генераторы напряжением 40 — 110 В. Контактные кольца из различных материалов в том числе и из стали.

G20 — машины постоянного тока напряжением 110 — 440 В, стальные контактные кольца, осветительные генераторы локомотивов и сварочные генераторы.

G100 — универсальные двигатели ручного электроинструмента и бытовых приборов и одно- и трехфазные стационарные машины и высокочастотные преобразователи.

G200 — то же, что у G100, и коллекторные двигатели параллельного возбуждения переменного тока.

E13 — тяговые двигатели постоянного тока и контактные кольца из различных материалов в том числе и из стали.

E17 — коллекторные двигатели переменного тока, контактные кольца асинхронных машин и универсальные двигатели малой мощности.

E22 — коллекторные двигатели трехфазного тока и генераторы поездного освещения.

E28 — коллекторные машины переменного тока, генераторы освещения трамваев, троллейбусов и мотор-вагонов, тяговые двигатели трамваев и троллейбусов.

E30 — коллекторные машины переменного тока, генераторы освещения мотор-вагонов, двигатели подъемных кранов и сварочные генераторы.

E35 — то же, что у E28, и стационарные машины переменного тока, коллекторные машины трехфазного тока параллельного возбуждения, возбудители, каскады Крамера и высокочастотные преобразователи.

E50 — коллекторные машины переменного тока и передвижные машины постоянного тока с затрудненными условиями коммутации.

E53 — универсальные двигатели ручного электроинструмента и бытовых приборов; стационарные коллекторные машины переменного тока.

M25, M40, M47, M70 области применения щеток перечисленных марок в каталоге фирмы не указаны.

M30 — зарядные генераторы напряжением 40 — 110 В.

M48 — тяговые двигатели электрокар, стартеры напряжением свыше 24 В, универсальные двигатели бытовых электроприборов.

M50 —машины с контактными кольцами из различных материалов, генераторы освещения трамваев и троллейбусов, стартеры напряжением 6; 12; 24 В и универсальные двигатели бытовых электроприборов.

M68 — машины со стальными и чугунными контактными кольцами, стартеры напряжением 24 В и двигатели игрушек.

M78 — генераторы питания гальванических ванн и зарядки аккумуляторных батарей напряжением 6 — 12 и 12 — 40 В; контактные кольца из различных материалов, стартеры напряжением 24 В и двигатели игрушек.

M83 — то же, что у M78, за исключением контактных колец, генераторы освещения трамваев, троллейбусов и стартеры напряжением 6 — 12 В.

M87 — то же, что у M78, но при напряжении 4 - 6 В.

2.5.5. Щеточная продукция ЧССР предназначено для использования в следующих областях:

T1 - машины постоянного тока напряжением до 500 В, установленные на подъемных кранах, осветительные генераторы поездов.

T3, TA45 — универсальные двигатели бытовых электроприборов.

G3 — коллекторные машины переменного тока с затрудненными условиями коммутации.

D1 - генераторы постоянного тока, сварочные генераторы и преобразователи.

D3 — сварочные генераторы.

D5 — машины малой мощности однофазного тока.

D10 — крупные машины постоянного тока напряжением до 220 В и одноякорные преобразователи.

RGE — контактные кольца из стали с большими окружными скоростями.

EK24 — генераторы постоянного тока напряжением до 220 В.

EK38 — тяговые двигатели электрических локомотивов и автотракторное оборудование.

EK54 — двигатели, работающие при переменных нагрузках (прокатное электрооборудование).

EK58 — коллекторные машины трехфазного тока с затрудненными условиями коммутации.

EK62 — автомобильные генераторы без добавочных полюсов.

EK63 — универсальные двигатели малой мощности.

EK67 — электрооборудование тракторов.

EK68 — тяговые двигатели дизель-электрических локомотивов и электровозов, питаемые пульсирующим током.

EK69 — тяговые двигатели городского рельсового транспорта.

K11 — низковольтные генераторы электрических установок и стартеры напряжением до 6—8 В.

K31 — стартеры и бронзовые контактные кольца асинхронных двигателей.

K32 — генераторы напряжением до 12 В и контактные кольца асинхронных двигателей.

K43 - генераторы напряжением до 38 В и контактные кольца асинхронных двигателей средней мощности.

K65 — стартеры напряжением 24 В и тяговые двигатели аккумуляторных тележек.

K75 — генераторы напряжением до 24 В и асинхронные двигатели с медными или бронзовыми контактными кольцами.

K82 — генераторы напряжением до 15 В и двигатели детских игрушек.

067 — генераторы напряжением до 24 В и контактные кольца из меди или бронзы.

M8 — автомобильные стартеры напряжением до 6 В.

M10 — электрические машины малой мощности напряжением до 20 В.

M12 — генераторы напряжением до 12 В и медные контактные кольца синхронных машин.

M15 — стартеры напряжением 6 — 12 В.

M18 — генераторы напряжением до 20 В и литые бронзовые контактные кольца синхронных генераторов, асинхронных двигателей и преобразователей.

M20 — контактные кольца асинхронных двигателей.

M25 — контактные кольца одноякорных преобразователей.

M30 — генераторы и двигатели постоянного тока малой мощности напряжением до 60 В.

M35 - маломощные машины постоянного тока напряжением до 60 В.

M45 - то же, что у M35, но при напряжении до 80 В.

2.6. Области применения щеток, изготавливаемых крупнейшими фирмами Великобритании, Франции, США и ФРГ.

2.6.1. Для изготовляемых предприятиями фирмы «Морганайт» (Великобритания) щеток рекомендованы следующие области применения.

A24 — стационарные электрические машины малых и средних размеров.

B — электрические машины с легкими условиями коммутации и автомобильные генераторы.

C4 — электрические машины мощностью 0,7 кВт.

C4R — двигатели последовательного возбуждения однофазного тока.

H100 — автомобильные генераторы.

PM60, PM70 — электрические машины мощностью до 0,7 кВт.

HM2 — генераторы и двигатели прокатных станов.

HM6R — контактные кольца турбогенераторов.

HM100 — стальные контактные кольца турбогенераторов.

IM3 — машины постоянного тока с трудными условиями коммутации; репульсионные и репульсионно-асинхронные двигатели; двигатели мощностью до 0,7 кВт.

IM6 — двигатели постоянного тока и универсальные двигатели мощностью до 0,7 кВт.

IM19 — большие и малые коллекторные машины переменного тока параллельного возбуждения с двойным комплектом щеток.

IM102 — коллекторные двигатели переменного тока, питаемые со стороны статора и ротора, и двигатели параллельного возбуждения с двойным комплектом щеток.

IM9101 — тяговые двигатели троллейбусов; хорошо работают на машинах постоянного тока, в течение длительного времени эксплуатируемых при пониженных нагрузках.

EG0 — сильноточные машины низкого напряжения (электролизеры) и контактные кольца из стали и бронзы.

EG0R — контактные кольца из стали и бронзы.

EG3 — тяговые двигатели и двигатели общепромышленного назначения малой и средней мощности.

EG12 — машины постоянного тока предельных мощностей, работающие в режимах длительных перегрузок.

EG14 — машины постоянного тока с затрудненными условиями коммутации.

EG14D — тяговые двигатели постоянного и переменного тока ($16^2/_3$ Гц).

EG16K — мощные высокоскоростные машины постоянного тока и возбудители турбогенераторов.

EG16S — то же, что и EG16K, но более износоустойчивые.

EG17 — промежуточная между EG14 и EG16K; сочетает высокую износоустойчивость и стабильность токосъема.

EG95 — мощные высокоскоростные электрические машины.

EG109 — машины с затрудненными в механическом отношении условиями работы.

EG111 — электрические машины с резко выраженной неравномерностью прикладываемых нагрузок.

EG114 — то же, что и EG111, но с лучшей полирующей способностью и большей окружной скоростью коллектора.

EG116 — высокоскоростные машины постоянного тока.

EG133 — сварочные генераторы с высокими окружными скоростями коллекторов.

EG206 — для использования в среде водорода и на герметически закрытых электрических машинах с изоляцией, пропитанной кремнийорганической смолой.

EG224 — прокатное оборудование.

EG236 — электрооборудование прокатных станов и шахтных подъемников.

EG236S — то же, что и EG236, но более износоустойчивые; тяговые генераторы.

EG251 — электрические машины с трудными условиями коммутации и значительными перегрузками.

EG260 — контактные кольца и машины постоянного тока, эксплуатируемые в атмосфере корродирующих газов.

EG6345 — судовое электрооборудование постоянного тока средней мощности.

EG6748 — тяговые двигатели магистральных электровозов постоянного тока и некоторые электрические машины мощностью до 0,7 кВт, при высоких окружных скоростях коллекторов.

EG6749N — тяговые двигатели магистральных электровозов постоянного тока.

EG8101 — коллекторные машины переменного тока с затрудненными условиями коммутации мощностью до 0,7 кВт.

CM — контактные кольца асинхронных двигателей.

CMO — генераторы гальванических цехов и автомобильные стартеры.

CMLS — контактные кольца из бронзы и латуни.

CM3H — контактные кольца и генераторы до 12 В.

CM5H — контактные кольца одноякорных преобразователей и асинхронных двигателей; электрические машины напряжение до 30 В и автомобильные генераторы.

CM5B — контактные кольца закрытых машин, особенно машин, кольца которых изготовлены из медно-никелевого сплава.

CM9 — машины постоянного тока напряжением 75 В и тяговые двигатели электрокар.

2.6.2. Щетки, изготавливаемые промышленными предприятиями Франции, фирма «Ле Карбон Лоррен» рекомендует применять в следующих областях:

D450 — машины низкого напряжения, машины старых выпусков.

DH — генераторы и маломощные двигатели постоянного тока.

LFC2 — медные контактные кольца турбогенераторов и коллекторы низковольтных генераторов.

LFC4 — то же, что LFC2, и контактные кольца синхронных машин.

LFC557 — стальные контактные кольца турбогенераторов с окружной скоростью до 75 м/с.

BG28 — контактные кольца двигателей трехфазного тока.

BG412 — коллекторные двигатели переменного тока параллельного возбуждения с двойным комплектом щеток и возбудители турбогенераторов.

BG469 — коллекторные двигатели переменного тока параллельного возбуждения с двойным комплектом щеток.

EG34D — реверсивные двигатели 110 — 150 В, возбудители турбогенераторов, авиационные двигатели, морские генераторы, городской транспорт, электрические машины с контактными кольцами, используемые в качестве приводов насосов и вентиляторов.

EG389 — сварочные генераторы напряжением 30 — 50 В, морские и авиационные двигатели, морские генераторы, тяговые двигатели, привод насосов и вентиляторов.

EG40D — тяговые двигатели, двигатели общепромышленного назначения.

EG63 — тяговые двигатели старых выпусков.

EG309 — реверсивные двигатели, двигатели прокатных станов, подъемников; приводные двигатели переменного тока насосов, вентиляторов; закрытые двигатели.

EG98P — коллекторные двигатели однофазного тока.

EG367 — тяговые двигатели и генераторы дизель-электрических локомотивов.

EG98B — реверсивные двигатели, однофазные двигатели переменного тока и тяговые двигатели.

EG300 — тяговые двигатели.

EG316 — реверсивные и герметически закрытые двигатели.

EG7097, EG7098, EG8067 — тяговые двигатели переменного тока.

EG7099 — генераторы дизель-электрических локомотивов, вспомогательные двигатели городского транспорта, морские генераторы и их возбудители.

EG6754, EG6160 — тяговые двигатели постоянного и выпрямленного тока.

EG6183 — тяговые двигатели троллейбусов, трамваев и метро.

CG33 — низковольтные тяговые двигатели и генераторы напряжением до 48 В.

CG50 — машины низкого напряжения и контактные кольца.

CG651 — двигатели низкого напряжения, одноякорные преобразователи, контактные кольца асинхронных двигателей насосов, вентиляторов; возбудители морских турбогенераторов.

CG65 — двигатели низкого напряжения.

CG65/35 — генераторы электрохимических производств напряжением 6—15 В, контактные кольца асинхронных двигателей, герметичные двигатели, двигатели типа Шербиуса, синхронные машины с контактными кольцами при частоте вращения 1500 об/мин.

CG653 — асинхронные двигатели типа Шербиуса, электропривод подъемников.

CG75 - генераторы электролизеров при напряжении 6 В.

OMC — автомобильные стартеры, бронзовые контактные кольца и низковольтные машины постоянного тока.

MC79P приводной двигатель установки, очищающий металл перед лужением.

MC94 — бронзовые контактные кольца.

MC12 — электропривод подъемных установок.

M609, M673 — контактные кольца асинхронных двигателей.

LFC3 — стальные и медные кольца турбогенераторов и кольца одноякорных преобразователей.

2.6.3. Каталожная информация фирмы «Юнион Карбайд» (США) указывает следующие области применения изготавливаемых ею щеток:

306 — однофазные коллекторные и индукционные машины переменного тока мощностью до 0,7 кВт.

3061 — контактные кольца синхронных двигателей и преобразователей, электрические машины без дополнительных полюсов и осветительные генераторы.

400 — тихоходные маломощные машины постоянного и переменного тока.

401 — мощные двигатели постоянного тока реверсивных прокатных станов, шахтных подъемников, лифтов, мельниц, компрессоров, тяговые двигатели аккумуляторных и контактных электровозов.

402 — тяговые двигатели постоянного тока и промышленное электрооборудование.

405 — двигатели переменного тока мощностью менее 1 кВт.

441 — крановые, компрессорные и тому подобные электрические машины старых выпусков с тяжелыми условиями коммутации.

442 — то же, что и у марки 441, а также двигатели ручного электроинструмента и пылесосов.

E — мощные шахтные двигатели, двигатели мельниц и подъемно-кранового электрооборудования.

808 — приводные двигатели постоянного тока прокатных станов, крановое электрооборудование, двигатели для дробилок, врубовых машин, маломощные двигатели переменного тока.

840 — машины постоянного тока старых выпусков, генераторы кинопроекционных установок, контакты.

850 — мощные экскаваторные двигатели постоянного тока, электрические машины реверсивных прокатных станов, подъемников, врубовых машин и шахтных локомотивов.

888 — двигатели постоянного тока общепромышленного назначения и универсальные двигатели ручного электроинструмента.

M3 — тяговые двигатели шахтных электровозов.

PH — кольца синхронных преобразователей и маломощные двигатели с низкими коммутационными параметрами.

619 — мощные генераторы и синхронные преобразователи, эксплуатируемые в окислительных средах, подзарядные и сварочные генераторы, тяговые двигатели напряжением до 25 В.

623 — генераторы постоянного тока, синхронные преобразователи и машины напряжением до 40 В.

634 — контактные кольца синхронных компенсаторов с высокой окружной скоростью.

676N — двигатели промышленного назначения.

R64, 9613 — контактные кольца турбогенераторов.

HRG — маломощные двигатели постоянного тока, от которых требуется бесшумная работа, синхронные преобразователи.

234/30 — умеренно нагруженные генераторы, двигатели и синхронные преобразователи, работающие при высоких окружных скоростях; двигатели врубовых машин.

255/25 — двигатели постоянного тока общепромышленного применения, генераторы и асинхронные преобразователи, осветительные железнодорожные генераторы и маломощные однофазные двигатели.

258 — умеренно нагруженные в коммутационном отношении машины постоянного тока и синхронные преобразователи.

259/35 — двигатели и синхронные преобразователи при нормальных и тяжелых условиях эксплуатации, коллекторные двигатели переменного тока и двигатели троллейбусов.

9234R(25) — мощные, высокоскоростные тяговые двигатели постоянного и однофазного тока, двигатели троллейбусов и дизель-электрических автобусов.

AX5(35) — то же, что у изделий марки 9234R(25), а также тяговые двигатели трамвайных вагонов и шахтных электровозов.

AY — синхронные машины и одноякорные преобразователи со стальными и бронзовыми контактными кольцами, маломощные машины постоянного тока.

BU(35) — машины постоянного тока общепромышленного назначения.

N1 — машины постоянного тока напряжением 25 — 80 В.

N4 — двигатели и генераторы, эксплуатируемые в тяжелых режимах при средних и высоких окружных скоростях на поверхности коллекторов.

SA25 — мощные машины постоянного тока.

SA35 — мощные машины постоянного тока и синхронные преобразователи, генераторы дизель-электровозов и экскаваторов, коллекторные двигатели переменного тока.

SA3513 — двигатели прокатных станов и экскаваторов со сложными режимами эксплуатации.

SA3532 — двигатели, работающие в тяжелых условиях эксплуатации и в широком интервале изменения нагрузок.

SA3538 — машины постоянного тока, синхронные преобразователи; электрические машины специального назначения.

SA40 — электрические машины с затрудненными условиями коммутации.

SA45 — тепловозные, экскаваторные и сварочные генераторы, коллекторные двигатели переменного тока с особо неблагоприятными условиями коммутации.

SA4513 — двигатели прокатных станов и экскаваторов со сложными условиями работы.

SA4548 — машины постоянного тока и синхронные преобразователи, машины специального назначения.

SA50 — тепловозные, экскаваторные и сварочные генераторы, коллекторные двигатели переменного тока с особо неблагоприятными условиями коммутации.

TA35 — мощные тяговые двигатели постоянного и однофазного тока электровозов и мотор-вагонов, работающие при больших электрических перегрузках, но не слишком напряженных коммутационных режимах; мощные двигатели экскаваторов, грейферов и подъемных кранов.

TA45 — то же, что и у марки TA35, но при очень напряженных коммутационных режимах.

543 — генераторы постоянного тока напряжением 6 В для электролитических цехов, стартеры и двигатели игрушек.

549 — сварочные и зарядные генераторы напряжением 24 — 36 В.

559 — транспортные и промышленные двигатели постоянного тока напряжением до 25 В, генераторы питания гальванических ванн при напряжении 6 — 12 В.

840К — автомобильные стартеры и двигатели электрифицированных игрушек.

ALA — контактные кольца.

АУК — контактные кольца синхронных преобразователей и асинхронных двигателей.

29 — контактные кольца асинхронных и синхронных машин.

2913 — контактные кольца синхронных преобразователей частоты.

39 — машины постоянного тока напряжением до 28 В и кольца синхронных преобразователей.

151 — генераторы постоянного тока напряжением 6 — 20 В.

157 — генераторы напряжением до 12 В для гальванических ванн, электролизеров.

EL — сигнальные двигатели, низковольтные магнето.

2.6.4. Для щеточных материалов, изготавливаемых в ФРГ фирмой «Рингсдорф», последняя рекомендует следующие области применения:

RH94 — универсальные двигатели малой мощности.

RK43 — универсальные двигатели малой мощности при неблагоприятных условиях в механическом отношении.

RK86 — универсальные двигатели с продороженными коллекторами, репульсионные двигатели и двигатели Дери.

RX21 — стационарные коллекторные машины трехфазного тока при плотности тока в скользящем контакте до 8 А/см^2 и трансформаторной ЭДС менее 2 В.

RX65 — то же, но при трансформаторной ЭДС более 2 В.

RX88 — стационарные коллекторные машины трехфазного тока при плотности тока в скользящем контакте более 8 А/см^2 и трансформаторной ЭДС менее 2 В.

RX99 — то же, но при трансформаторной ЭДС более 2 В.

RX98 — по назначению аналогична щеткам марки RX99, но формирует очень тонкий слой политуры.

RG10 — машины постоянного тока, эксплуатируемые в коррозийной атмосфере.

RE12 — мощные генераторы преобразовательных агрегатов с тяжелыми условиями коммутации.

RE18 — нормальные двигатели постоянного тока средней мощности и сварочные генераторы последовательного возбуждения.

RE19N1 — тяговые двигатели постоянного тока магистральных и пригородных железных дорог.

RE28 — универсальные машины и машины трехфазного тока малой мощности.

RE50 — машины с контактными кольцами из стали при плотности тока в скользящем контакте до 10 А/см^2 и окружной скоростью более 35 м/с.

RE53 — генераторы дизель-электрических локомотивов.

RE54 — генераторы постоянного тока средней мощности вспомогательных приводов прокатных станов, эксплуатируемых с частым сбрасыванием нагрузки.

RE59 — тяговые двигатели постоянного тока, питаемые выпрямителями.

RE59N1 — тяговые двигатели постоянного тока магистральных и пригородных железных дорог.

RE59W — коллекторные машины переменного тока Шербиуса и мощные двигатели постоянного тока с тяжелыми условиями коммутации.

RE91 — мощные машины постоянного тока.

RE92 — генераторы постоянного тока средной мощности вспомогательных приводов прокатных станов.

RE98 — мощные генераторы преобразовательных установок с особо тяжелыми условиями коммутации.

RC50 — генераторы поездного освещения напряжением до 110 В, маломощные зарядные генераторы при напряжении 12 — 24 В и контактные кольца из бронзы, меди и стали.

RC62 — низковольтные машины постоянного тока и контактные кольца.

RC66 — маломощные машины постоянного тока напряжением 6 — 12 В и контактные кольца из бронзы, меди и стали.

RC73 — контактные кольца из бронзы, меди и стали.

RC74 — контактные кольца из стали при плотности тока в скользящем контакте более 10 А/см^2.

RC84 — контактные кольца из бронзы и стали при плотности тока в скользящем контакте 10 — 20 А/см^2.

RC87 — контактные кольца.

RC90 — контактные кольца цепей заземления и контактные кольца из серебра для измерительных цепей.

RC95 — цепи заземления.

RS50 — маломощные зарядные генераторы напряжением 1,5 — 6,0 В.

RS70 — маломощные зарядные генераторы напряжением до 1,5 В и тахогенераторы напряжением до 110 В.

RS90 — контактные кольца из серебра для измерительных цепей.

2.7. Общие рекомендации по выбору щеток

2.7.1. Задачу выбора щеток приходится решать в трех следующих случаях: при проектировании новой электрической машины, при переводе эксплуатируемой машины на новый режим работы, когда ранее применявшиеся щетки перестают обеспечивать нормальное функционирование узла токосъема и в случае, часто встречающемся при эксплуатации импортных машин, когда установленный на работающем двигателе комплект щеток износился, а другого комплекта изделий этой же марки в распоряжении обслуживающего персонала не имеется. В настоящем параграфе анализируется первый случай решения рассматриваемой задачи, являющийся наиболее общим. Два других будут рассмотрены далее, в § 3.5 и 3.6.

2.7.2. Основным критерием правильного выбора щеток является обеспечение электрическими машинами требуемого режима работы сопряженного с ними технологического оборудования при минимальных расходах на обслуживание и ремонт этих машин. Сформулированные условия окажутся выполненными, если щетки будут удовлетворять ряду требований, главнейшими из которых являются следующие:

1) щетки должны надежно осуществлять коммутационный процесс электрических машин и не вызывать искрения, связанного с переключением токов в замыкаемых секциях обмоток;

2) щетки должны обеспечивать надежный контакт с вращающимися элементами электрических машин и не вызывать искрения, связанного с нарушением этого контакта;

3) щетки должны вызывать минимальные потери энергии в скользящем контакте;

4) щетки должны обладать достаточной механической прочностью, исключающей возможность их разрушения;

5) материал, из которого изготовлены щетки, должен обладать возможно большей износоустойчивостью, обеспечивать сохранность поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец и не вызывать износа этих поверхностей.

2.7.3. Особенность перечисленных требований состоит в том, что многие из них являются взаимоисключающими и удовлетворение одного достигается за счет другого. Так, требование, указанное в п. 1, приходится удовлетворять, применяя материалы на сажевой основе, обладающие повышенными коммутирующими свойствами, но износоустойчивость подобных материалов по сравнению с графитовыми является пониженной. В таком же противоречии находится указанное в п. 5 требование о повышении износоустойчивости щеточных материалов при одновременном снижении степени их воздействия на поверхности скольжения коллекторов и колец. При указанных обстоятельствах выбор щеток для тех или иных условий эксплуатации представляет собою достаточно сложную задачу, правильное решение которой обеспечивает получение высоких технико-экономических показателей работы электрических машин, обслуживаемых ими исполнительных механизмов и, следовательно, промышленного предприятия в целом.

2.7.4. Рассматривая вопрос о выборе щеток, необходимо уточнить содержание этой работы. Выбрать щетку — это значит определить марку материала, из которого она должна быть изготовлена, установить ее общую конфигурацию (тип), рассчитать размеры и подобрать для нее соответствующую арматуру. Для вновь проектируемой электрической

машины щетки выбирают в процессе выполнения расчета. При этом учитываются индивидуальные особенности создаваемой машины, условия и режим предстоящей работы, свойства среды, в которой эта работа будет происходить и ряд других обстоятельств, обусловленных собственно электрической машиной и условиями ее эксплуатации. Установившихся представлений о том, в какой зависимости находятся эксплуатационные свойства щеток от тех параметров, которые приводятся в нормативно-технической документации на них, в настоящее время еще не существует, и выбор их марки на стадии проектирования обычно производится на основе личного опыта проектировщика и обобщения практики наладки и эксплуатации ранее изготовленных аналогичных машин. Информация, обобщающая подобную практику для большого количества случаев использования щеток на электрических машинах различных назначений, приведена в гл. 4. Пользуясь содержащимися там сведениями и опираясь на личный опыт, расчетчик электрической машины может произвести предварительный выбор марки щеток. Большую помощь в решении этой задачи могут оказать также описанные в §1.6 общие закономерности изменения параметров и свойств щеточных материалов, показывающие, в каком направлении эти изменения происходят и как они связаны с составом материалов, т. е. с марками щеток. Выбрав марку и убедившись по табл. 1.5 и 1.6, что она допускает работу при требуемых окружных скоростях, из этих таблиц расчетчик получает сведения о номинальной плотности тока J, переходном падении напряжения $2\Delta U$ и коэффициенте трения μ. Значения двух последних параметров могут быть использованы для вычисления потерь в скользящем контакте, значение J позволяет рассчитать размеры всех конструктивных элементов скользящего контакта проектируемой электрической машины.

2.7.5. При расчете элементов скользящего контакта электрической машины определяют размер перекрытия щеткой коллектора $\beta_п$, диаметр коллектора $D_к$ и длину его рабочей части $l_к$. Оптимальные соотношения между $D_к$ и $l_к$ и их численные значения выбирают либо по заводским нормалям, либо рассчитывают методом последовательных приближений. В самой непосредственной связи с указанными размерами машины находятся тангенциальный и аксиальный размеры щеток. Тангенциальный размер определяется по условию

$$t = \beta_к \gamma_к = \pi D_к / k, \qquad (2.1)$$

где $\beta_к$ — коллекторное деление (расстояние между серединами соседних коллекторных пластин); $\gamma_к$ — число коллекторных пластин, перекрываемых щеткой; k — общее число коллекторных пластин; $D_к$ — диаметр коллектора.

Определяемая выражением (2.1) связь между $D_к$ и t при выбранном значении $\beta_п$ позволяет изменять $D_к$ без риска нарушить условия коммутации. Подобное обстоятельство дает возможность выбирать для коллекторов довольно широкий диапазон изменения их диаметров. Практически размер $D_к$ стремятся принять минимально возможным. Пределом здесь служит целесообразное увеличение длины коллектора, возможная ширина коллекторных пластин и минимально допустимый, по условиям механической прочности, тангенциальный размер щеток t. Установленная ГОСТ 12232.1-77 шкала размеров щеток приводилась в табл. 2.1 и 2.2. Там же указаны и соответствующие данному размеру t аксиальные и радиальные размеры щеток a и r.

2.7.6. Выбор размера щетки a, кроме того, что его следует согласовать со стандартизируемым с ним размером t, должен быть подчинен еще двум условиям. Прежде всего необходимо позаботиться о том, чтобы номинальная плотность тока в щетке при принятом зна-

чении t не превышала значений, указанных в соответствующих графах табл. 1.5 и 1.6. Это условие выполняется в случае, если

$$a = I_щ/tJ, \qquad (2.2)$$

где $I_щ$ — ток одной щетки; t — тангенциальный размер щетки; J — плотность тока.

Далее необходимо проверить, в какой мере выбранное значение a согласуется с длиной рабочей части коллектора. Для расчета по изложенной схеме необходимо знать значение тока, приходящегося на одну щетку $I_щ$. Для определения последнего по известному току электрической машины $I_м$ и принятой плотности тока J нужно найти суммарную площадь сечения всех щеток одной полярности

$$\Sigma F = I_м/J \qquad (2.3)$$

и потребное для машины число пар щеток различной полярности

$$p_щ = \Sigma F/F_щ. \qquad (2.4)$$

Ток, приходящийся на одну пару щеток разной полярности или на одну щетку одной полярности, окажется равным

$$I_щ = I_м/p_щ. \qquad (2.5)$$

Последние три формулы можно использовать в случае, если выбрана площадь сечения одной щетки

$$F_щ = ta. \qquad (2.6)$$

Таким образом, задача определения размеров сечения и общего количества щеток для электрической машины данной мощности оказывается неопределенной и ее приходится решать методом последовательных приближений. Для облегчения получения такого решения на рис. 2.17 приводится номограмма, позволяющая анализировать возможные варианты конструктивного оформления щеточно-коллекторного узла. При этом на шкалу $F_щ$ номограммы нанесены площади сечения щеток при $t < a$, и получаемые с ее помощью решения в полной мере удовлетворяют требованиям ГОСТ 12232.1-77.

Схема пользования номограммой изображена в ее правом верхнем углу и иллюстрируется примером.

Пример. Определить размеры и количество щеток для машины постоянного тока с токовой нагрузкой $I_м$=7200 А, на которой намечено использовать щетки марки ЭГ4 (J=12 А/см²). Так как токовая нагрузка превышает максимальное значение шкалы $I_м$, для расчета необходимо значение тока на этой шкале увеличить в 10 раз. Во столько же раз нужно будет увеличивать и значения, считываемые со шкал ΣF и $p_щ$. Решение примера начинают, соединив линейкой точку «7200» шкалы $I_м$ с точкой «12» шкалы J. В точке пересечения линейки со шкалой ΣF, являющейся решением формулы (2.3), отсчитываем 600 см². Соединив далее линейкой эту точку с выбранным по правой крайней шкале значением сечения одной щетки, получаем $F_щ$=4 см². В точке пересечения линейки со шкалой $p_щ$ на правой разметке этой шкалы получаем число 150. Этим действием получено решение формулы (2.4), указывающее, какое количество пар щеток следует установить на машине. Для выполнения заключительного действия, определяемого формулой (2.5), точку «150» с правой разметки шкалы $p_щ$ следует перенести на ее левую разметку и соединить линейкой с точкой «7200» шкалы $I_м$. Пересечение линейки со шкалой $I_щ$ на отметке «48» позволило определить значение тока, приходящегося на одну щетку.

Техника выполнения описываемых расчетов не сложная, но достоинство номограммы состоит в том, что получаемый с ее помощью результат с учетом ГОСТ 12232.1-77 оказывается предпочтительным

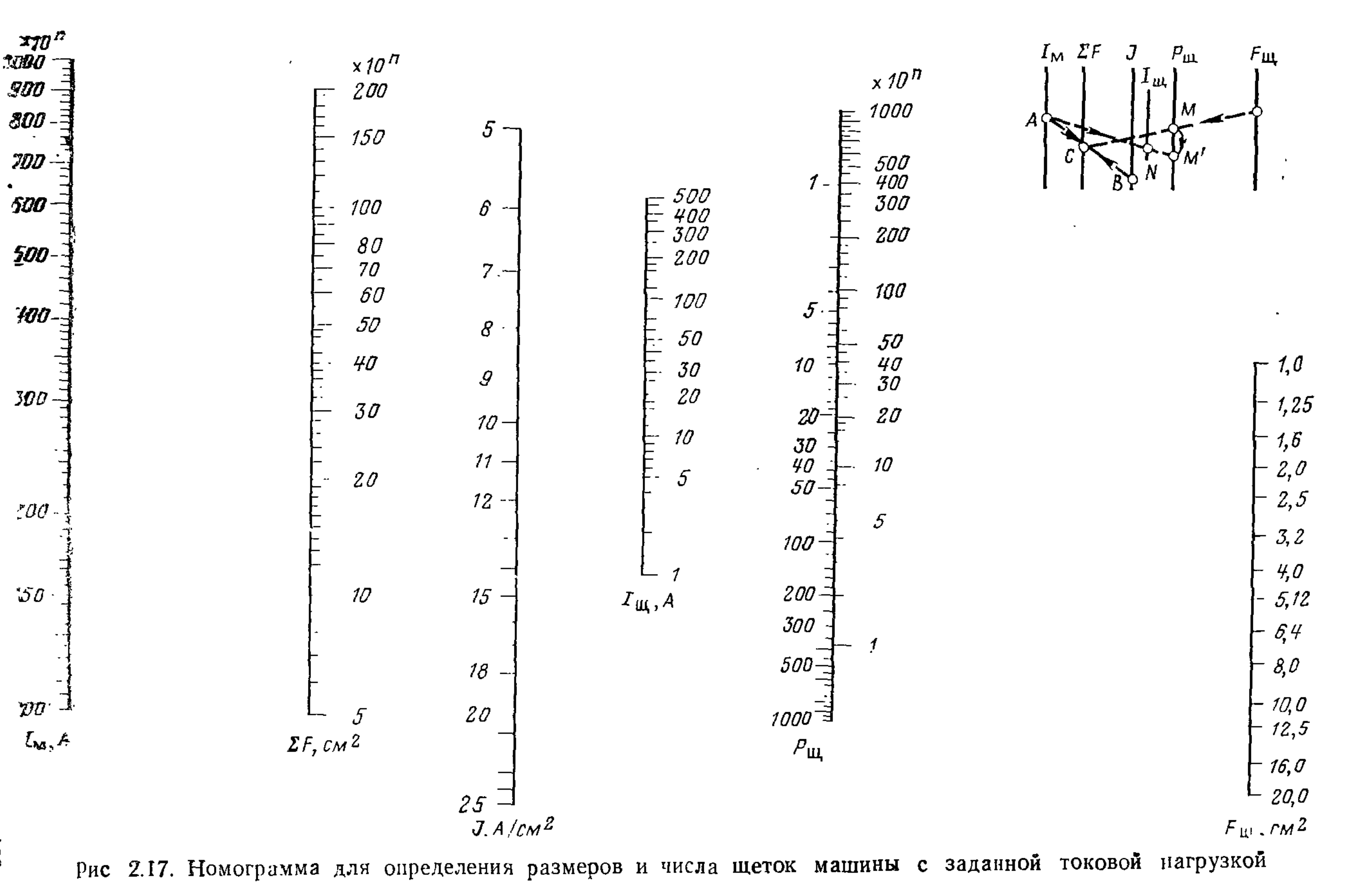


Рис 2.17. Номограмма для определения размеров и числа щеток машины с заданной токовой нагрузкой

2.7.7. Работая со щетками, необходимо учитывать особенности их маркировки. Маркировка наносится на каждой щетке, радиальный или аксиальный размер которой превышает 5 мм. Маркировка щетки содержит обозначение марки материала, из которого она изготовлена, и товарного знака предприятия-изготовителя. Изображения этих знаков, используемых рядом изготовителей щеток, показано на рис. 2.18. Марка материала воспроизводит все те литеры и цифры,

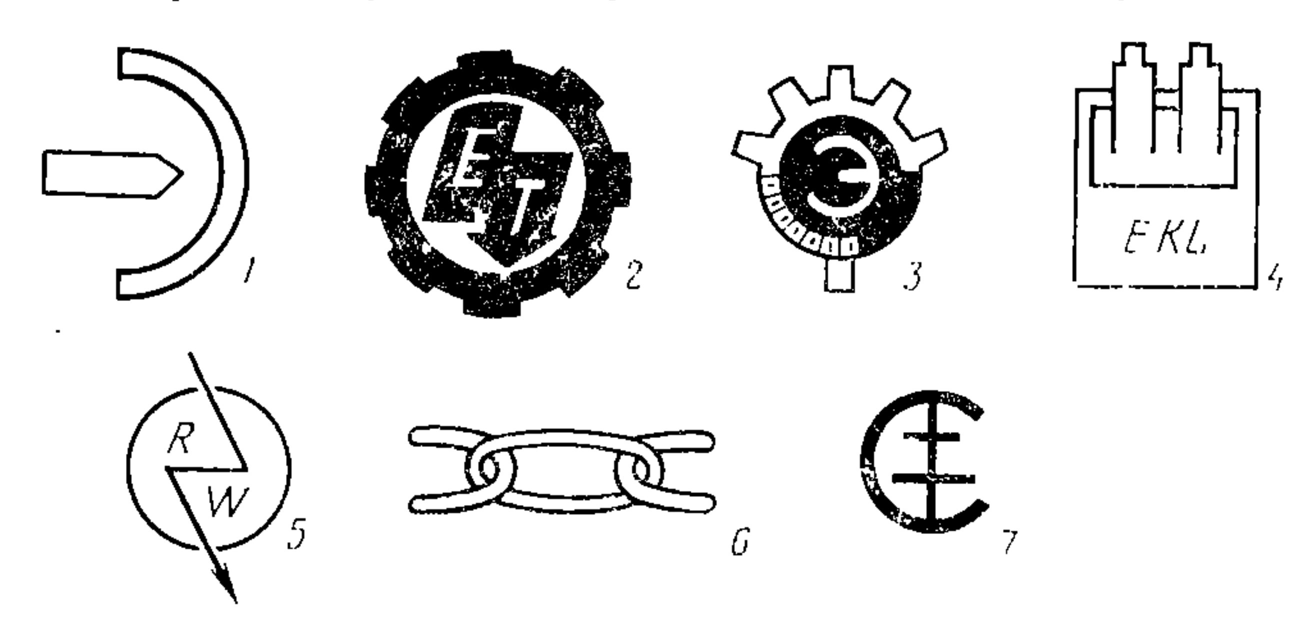


Рис. 2.18. Товарные марки и фирменные знаки изготовителей щеток:
1 — предприятия производственного объединения «Электроугли» (СССР); 2 — предприятие «Электрокарбон» (ЧССР); 3 — предприятие ПНР; 4 — предприятие «Электроколе Лихтенберг» (ГДР); 5 — предприятия фирмы «Рингсдорф» (ФРГ); 6 — предприятия фирмы «Морганайт» (Великобритания); 7 — предприятия фирмы «Ле Карбон Лоррен» (Франция)

под которыми он фигурирует в табл. 1.5—1.15. В практике отечественной промышленности щетки, размеры a и r которых менее 5 мм, маркируют не полным обозначением марки материала, а его услов-

Таблица 2.21. Условное и полное обозначения марок щеточных материалов, изготавливаемых промышленностью СССР

Условное	Полное	Условное	Полное	Условное	Полное
9	МГС5	56	611ОМ	83	М3
12	ЭГ2А	59	ЭГ4Э	84	ЭГ84
14	ЭГ4	61	ЭГ61	85	ЭГ85
17	МГ	62	ЭГ62	86	М6
18	ЭГ8	63	ЭГ63	87	ЭГ51А
19	МГ4	65	ЭГ17	88	611М
20	Г20	66	ЭГ13П	89	МГС9А
21	МГСО	67	ЭГ13	91	МГ64
32	Г22	68	ЭГ2АФ	92	МГСО1
34	Г21	71	ЭГ71	93	М20
41	ЭГ14	72	МГС20	94	20
43	Г3	74	ЭГ74	95	МГ4С
44	Г4	74К	ЭГ74К	96	96-0
50	ЭГ50	75	ЭГ75	97	М1А
51	ЭГ51	77	МГСОА	103	Г33
52	МГС21	79	ЭГ74АФ	106	ЭГ86
53	МГС51	81	М1	108	ЭГ84-1
		82	МГ2		

ным обозначением. Переход от условных обозначений к полным показан в табл. 2.21 (ГОСТ 2332-75). Допустимо наносить маркировку способом вдавливания на кабельном наконечнике щетки или ее накладке (ГОСТ 2332-75).

В некоторых случаях кроме перечисленных обозначений на щетке указываются еще и дополнительные сведения (вид пропитки, номер технологической партии, дата выпуска).

2.8. Методы оценки эксплуатационных свойств щеток

2.8.1. Современный этап изучения эксплуатационных свойств щеток базируется на использовании государственных стандартов, определяющих показатели качества, надежности и долговечности изделий машиностроения (ГОСТ 16468-79, ГОСТ 16504-74, ГОСТ 17526-72, 19460-74). На основе названных стандартов в промышленности разработаны руководящие технические материалы, устанавливающие порядок сбора, прохождения и обработки информации о качестве и надежности щеток по результатам их стендовых и эксплуатационных испытаний (РТМ 16.800.444-77). Этот документ учитывает, что при эксплуатации щеток имеет место два вида отказов: постепенные, обусловленные изменением их геометрических размеров вследствие износа, и внезапные, вызванные разрушением изделий или элементов их арматуры. Постепенные и внезапные отказы обусловлены различными причинами и считаются взаимно независимыми.

При анализе результатов испытаний используется экспоненциальный закон распределения наработок до внезапного отказа и нормальный закон распределения случайных значений износа. При этом наработка щеток до предельного состояния, т. е. их технический ресурс, описывается законом распределения Бернштейна по ГОСТ 19460-74.

Данные, на основе которых рассчитываются эксплуатационные свойства щеток, получают в процессе проведения их эксплуатационных испытаний. Щетки электрооборудования общепромышленного назначения, железнодорожного и городского рельсового транспорта, судового электрооборудования и оборудования электростанций испытываются на реальных электрических машинах в условиях нормальной промышленной эксплуатации. Щетки электрических машин малой мощности (автотракторные, бытового назначения, электроинструмента и т. п.) проходят проверку в процессе проведения стендовых приемо-сдаточных и периодических испытаний.

2.8.2. Стендовые испытания щеток проводятся в соответствии с установленным порядком приемки готовой продукции. Условия проведения этих испытаний, их режим и прочие обстоятельства определяются действующими стандартами и техническими условиями на продукцию специализированного назначения. Все стендовые испытания проводятся по планам N, U, T ГОСТ 16504-74.

Эксплуатационные испытания щеток осуществляются в соответствии с инструкцией, являющейся приложением к РТМ16.800.444-77. Первое требование инструкции состоит в оценке технического состояния машины, на которой будут проводиться испытания. Особое внимание при этом следует обратить на состояние поверхностей скольжения, их эксцентриситет (общее биение), выступающие коллекторные пластины (местное биение) и внутренние размеры гнезд щеткодержателей. Результаты соответствующих измерений фиксируют в пп. 8 – 10 протокола испытаний, типовая форма которого приведена в приложении 1. Если состояние машины удовлетворяет требованиям установленных норм (гл. 3), ее оборудуют испытуемыми щетками с одновременным заполнением пп. 1—7 и 11—18 протокола. Установленные

щетки пришлифовывают к профилю скользящей поверхности, после чего проверяют, а в случае необходимости и возможности регулируют силу нажатия пружин щеткодержателей. Далее решают вопрос о числе щеток, на которых будет измеряться износ. В случае, если их общее количество не превышает 20—30 шт., наблюдение ведут за всеми изделиями комплекта. При большем их числе под наблюдение берут щетки, установленные на четырех-шести рядом расположенных бракетах. На взятых под наблюдение щетках гравируют порядковые номера, и штангенциркулем измеряют радиальный размер каждой из них. Подготовленные описанным образом щетки снова ставят в их щеткодержатели и, сделав в соответствующей графе п. 23 протокола надлежащие записи, включают электрическую машину для предварительной работы под нагрузкой. Если предварительная работа протекает удовлетворительно, электрическую машину передают для нормальной промышленной эксплуатации.

2.8.3. На первом этапе эксплуатационных испытаний щеток особо тщательные наблюдения ведутся за их коммутирующей способностью. Эта способность оценивается по степени искрения под сбегающим краем по шкале, приведенной в табл. 2.22. При номинальном режиме работы коллекторных машин постоянного тока степень искрения должна быть не выше $1^1/_2$. Если нагрузка машины по току в 1,5—2,5 раза превышает номинальное значение, то степень искрения должна обеспечивать нормальную работу без дополнительной очистки коллектора и разрушения щеток. Основным в практикуемой системе оценки искрения является то, что она определяет допустимую степень этого искрения не по светотехническому эффекту, а по результатам реального воздействия на коллектор. Недопустимым является такое искрение, при котором на его поверхности появляются следы почернения, не устраняемые протиранием бензином. При отсутствии такого почернения и при отсутствии нагара на щетках степень искрения является допустимой и коммутирующие свойства щеток признаются удовлетворительными. Оценка степени искрения щеток по табл. 2.22 в практике эксплуатации производится визуально. Только в отдельных специализированных лабораториях для этой цели применяются экспериментальные приборы [2.11, 2.12], ни один из которых промышленного распространения пока не получил.

2.8.4. Степень нагрева коллекторов и контактных колец самым непосредственным образом связана, как известно, с потерями в месте их контакта со щетками. Предельные длительно допустимые превышения температуры этих частей электрических машин, измеренные с помощью термометра при температуре газообразной охлаждающей среды +40° С и высоте над уровнем моря не более 1000 м, не должны превышать следующих значений:

Для электрических машин, изолированных материалами классов (ГОСТ 8865-70) . .	A	E	B	F	H
Предельные длительно допустимые превышения температуры, °С	60	70	80	90	100

В ГОСТ 183-74 предусматривается возможность увеличения указанных здесь предельных значений превышения температуры, если при этом не произойдет ухудшение коммутации, будет обеспечена безопасность пайки соединений, а также будут соблюдены некоторые дополнительные условия, перечисленные в п. 1.12 названного стандарта. Предельно допустимая температура коллекторов и контактных

Таблица 2.22. **Шкала степеней искрения на коллекторах электрических машин постоянного и переменного тока, СТ СЭВ 1346-78**

Степень искрения	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения	Отсутствие почернения на коллекторе и следов нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое искрение под небольшой частью края щетки	
$1\frac{1}{2}$	Искрение под большей частью щетки	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
2	Значительное искрение по всем краям щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
3	Значительное искрение по всем краям щетки с появлением крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и начало разрушения щеток

колец определяется суммированием указанных выше превышений температур с температурой 40° С.

Способы измерения температуры коллектора нормированы ГОСТ 10159-79 и ГОСТ 11828-75. В первом из них сказано, что измерения производятся после остановки электрической машины, а во втором — что для определения температуры, которая была до отключения, необходимо экстраполировать кривую остывания на момент отключения.

2.8.5. Установленная РТМ 16.800.444-77 продолжительность испытаний щеток должна быть достаточной для того, чтобы они износились не менее чем на $^{1}/_{10}$ своего ресурса $r_{\text{п}}$. В течение этого периода ведутся наблюдения за всеми показателями, характеризующими поведение электрической машины: степенью искрения, тепловым режимом, вибрацией, количеством разрушившихся щеток, состоянием коллекторной пленки (политуры), коллекторных пластин, контактных поверхностей щеток и т. д. Результаты этих наблюдений фиксируются в

соответствующих пунктах протокола испытаний. Сюда же записываются результаты измерения радиального размера щеток в конце наблюдений и общая продолжительность испытаний.

Проведя ревизию электрической машины и все предусмотренные протоколом испытаний измерения, получают исходную информацию, позволяющую произвести количественную оценку эксплуатационных свойств испытанных щеток. При этом следует иметь в виду, что вследствие практической невозможности точного контроля и регулирования технического состояния использованных для испытаний электрических машин полученная информация носит справочный, а не нормативный характер.

2.8.6. Обработка информации, полученной в результате испытаний щеток, проводится в два этапа. На первом из них вычисляются значения параметров кривой распределения скорости изнашивания испытанных изделий. С указанной целью по зафиксированным в протоколе испытаний значениям радиальных размеров щеток — в начале испытаний $r_н$ и в конце испытаний $r_к$ — вычисляется абсолютное значение износа каждой (i-й) из находившихся под наблюдением щетки Δr_i:

$$\Delta r_i = r_{нi} - r_{кi}. \qquad (2.7)$$

Отнеся полученную величину к продолжительности периода испытаний T, находят скорость ее изнашивания:

$$v_i = \Delta r_i / T. \qquad (2.8)$$

В подавляющем большинстве случаев продолжительность периода T измеряется в часах, но встречаются случаи, когда ее целесообразно выражать числом километров пробега или включений электрической машины.

Располагая значениями скорости изнашивания каждой из находившихся под наблюдением щеток $N_щ$, вычисляют точную оценку средней скорости их изнашивания

$$\bar{v} = \left(\sum_{i=1}^{N_щ} v_i \right) \Big/ N_щ \qquad (2.9)$$

и стандартное отклонение этой величины в общем количестве находившихся под наблюдением щеток

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{N_щ - 1} \left(\sum_{i=1}^{N_щ} v_i^2 - N_щ \bar{v}^2 \right)}. \qquad (2.10)$$

Физический смысл величин $\bar{v}$ и σ_v заключается в том, что первая из них является наиболее вероятной скоростью изнашивания щеток, испытанных на определенной электрической машине, принимаемой в качестве номинального значения этой характеристики. Величина σ_v, оценивающая меру рассеяния отдельных значений v_i от их среднего значения $\bar{v}$, является средним квадратичным отклонением. В соответствии с известным из математической статистики правилом «трех сигм» можно определить вероятное наибольшее значение скорости изнашивания щеток, входящих в испытуемый комплект:

$$v_{max} = \bar{v} + 3\sigma_v. \qquad (2.11)$$

Основываясь на других правилах математической статистики, результаты, полученные в процессе испытаний находящихся под наблю-

дением щеток (выборка), переносят на все щетки испытанной марки и конструкции, используемые на данной электрической машине. Большое количество результатов, полученных по данным наблюдений за эксплуатацией щеток на электрических машинах различных отраслей народного хозяйства, помещено в гл. 4. Содержащиеся там фактические сведения являются пособием для решения большого круга вопросов, возникающих перед персоналом служб главного электрика, призванного обеспечить безаварийную и высокопроизводительную эксплуатацию электрооборудования. С помощью этих сведений можно выбирать для многих типов электрических машин щетки, обладающие лучшими эксплуатационными параметрами, осуществлять замену щеток зарубежного производства отечественными, производить расчет норм их расхода, резервных запасов и т. п. Практика получения описываемых результатов иллюстрируется примером, изложенным в следующем пункте.

2.8.7. Пример. Определить значения $\bar{v}$ и $\bar{\sigma_v}$ для щеток, выписка из протокола испытаний которых приведена в табл. 2.23. Пользуясь формулами (2.7) и (2.8) для каждой из 56 находившихся под наблюдением щеток, вычисляем значения Δr_i и v_i, записываемые в таблицу. В связи с тем что ряд щеток обладает одинаковыми значениями v_i, дальнейшие расчеты по выражениям (2.9) и (2.10) можно рационализировать, выполнив их по формулам:

$$\bar{v} = \left(\sum_{i=1}^{i=N_щ} v_i n_i \right) \Big/ N_щ; \qquad (2.12)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{N_щ - 1} \left(\sum_{i=1}^{i=N_щ} n_i v_i^2 - N_щ \bar{v}^2 \right)}, \qquad (2.13)$$

в которых обозначения $\bar{v}$, v_i и $N_щ$ те же, что и в предыдущих пяти формулах, а n_i показывает, сколько раз среди анализируемых данных встретились одинаковые значения величины v_i. Техника расчетов по формулам (2.12) и (2.13), использующая принятую в математической статистике систему группировки экспериментальных данных, иллюстрируется выкладками табл. 2.24.

2.8.8. На основе рассчитанных значений $\bar{v}$ и σ_v, дополненных зафиксированными в протоколе другими сведениями о поведении щеток при испытании, приступают ко второму этапу обработки опытных данных. При этом определяют такие показатели надежности щеток, как средний ресурс $\bar{T}_р$, гамма-процентный ресурс $\bar{T}_{р\gamma}$, вероятность безотказной работы $P(t)$ и интенсивность отказов $\lambda_{ов}$. Значение среднего ресурса показывает среднее время работы, в течение которого щетки изнoсятся до своего предельного состояния. Гамма-процентный ресурс определяет продолжительность времени работы, в течение которой обусловленный процент щеток не достигнет предельного износа. Вероятность безотказной работы оценивает вероятность того факта, что в пределах рассчитанной продолжительности работы щетки не износятся до предельного состояния. Интенсивность отказов представляет собою условную характеристику вероятности нарушений работоспособности щеток, определяемую для рассматриваемого момента времени, при условии, что до этого момента подобные нарушения не возникали. Поскольку в рассматриваемой задаче исследуются статистические закономерности, то

Таблица 2.23. **Выписка из протокола эксплуатационных испытаний щеток**

Номер щетки	Данные протокола испытаний			Расчетные данные	
	Радиальный размер щетки, мм		Продолжительность работы T, ч	Износ щетки Δr_i, мм	Скорость изнашивания щетки v_i, мм/1000 ч
	начальный $r_{нi}$	конечный $r_{кi}$			
1	61,2	50,7	2180	10,5	4,8
2	60,7	54,7	2180	6,0	2,8
3	61,0	52,0	2180	9,0	4,1
4	61,0	51,0	2180	10,0	4,6
5	59,6	48,6	2180	11,0	5,1
6	59,8	52,3	1700*	7,5	4,4
7	60,5	51,0	2180	9,5	4,4
8	60,2	48,2	2180	12,0	5,5
9	60,0	51,5	2180	8,5	3,9
10	59,9	50,9	2180	9,0	4,1
11	60,6	50,6	2180	10,0	4,6
12	61,0	52,8	2180	8,2	3,9
13	60,2	53,5	2180	6,7	3,0
14	59,9	49,4	2180	10,5	4,8
15	60,2	51,4	2180	8,8	4,0
16	60,8	48,8	2180	12,0	5,5
17	59,1	51,6	2180	7,5	3,4
18	59,7	52,7	2180	7,0	3,2
19	60,7	52,2	2180	8,5	3,9
20	59,2	50,3	2180	8,9	4,1
21	59,8	52,0	2180	7,8	3,6
22	59,9	53,4	2180	6,5	2,9
23	60,6	56,1	2180	4,5	2,0
24	59,6	50,1	2180	9,5	4,3
25	59,1	52,1	2180	7,0	3,2
26	59,9	52,1	2180	7,8	3,5
27	60,0	48,5	2180	11,5	5,3
28	60,2	53,6	1700**	6,6	3,9
29	60,8	52,0	2180	8,8	4,0
30	60,2	53,5	2180	6,7	3,0
31	59,4	52,5	2180	6,9	3,2
32	59,9	53,3	2180	6,6	3,0
33	60,4	52,1	2180	8,3	3,8
34	60,8	52,8	2180	8,0	3,6
35	59,0	50,2	2180	8,8	4,0
36	59,3	53,3	2180	6,0	2,7
37	60,9	52,8	2180	8,1	3,7
38	60,4	57,3	1040*	3,1	3,0
39	60,1	55,2	2180	4,9	2,2
40	60,3	52,9	2180	7,4	3,3
41	60,2	55,4	1700*	4,8	3,4
42	60,0	52,0	2180	8,0	3,6

Номер щетки	Данные протокола испытаний			Расчетные данные	
	Радиальный размер щетки, мм,		Продолжительность работы T, ч	Износ щетки, Δr_i, мм	Скорость изнашивания щетки v_i, мм/1000 ч
	начальный $r_{нi}$	конечный $r_{кi}$			
43	59,1	53,1	2180	6,0	2,7
44	60,7	53,2	2180	7,5	3,4
45	60,2	50,7	2180	9,5	4,3
46	59,0	49 0	2180	10,0	4,6
47	59,4	49,1	2180	10,3	4,7
48	59,1	51,6	2180	7,5	3,4
49	59,4	46,1	2180	13,3	6,1
50	60,3	49,8	2180	10,5	4,8
51	60,7	52,1	2180	8,6	3,9
52	59,6	54,1	2180	5,5	2,5
53	60,1	54,9	2180	5,2	2,4
54	59,7	54,2	2180	5,5	2,5
55	59,1	54,3	2180	4,8	2,2
56	59,9	54,7	2180	5,2	2,4

* Щетки сняты с испытаний из-за механического разрушения места крепления арматуры.

** Щетка снята с испытаний из-за механического разрушения в месте соприкосновения с нажимным пальцем щеткодержателя.

названные показатели приходится характеризовать точечными значениями и дисперсией. Наиболее часто используемые для указанной цели формулы приведены в табл. 2.25. Техника расчетов по этим формулам ниже иллюстрируется примерами.

2.8.9. Пример 1. По данным наблюдений за работой 56 щеток ($N_щ=56$), зафиксированных в табл. 2.23, в п. 2.8.7 определено, что $\bar{v}=3{,}74$ мм и $\sigma=0{,}93$ мм за 1000 ч. Зная, что часть радиального размера щетки, которая может быть изношена, равна $r-r_{пр}=35$ мм, необходимо рассчитать средний ресурс испытанных щеток. Требуемые вычисления выполняются по формулам (2.14), (2.15) и (2.16). Учитывая единицы величин $\bar{v}$ и σ, в первую из них следует ввести множитель 10^3, а во вторую 10^6.

$$\bar{T}_р=\frac{r-r_{пр}}{\bar{v}}\left[1+\left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}}\right)^2\right]10^3=\frac{35}{3{,}74}\left[1+\left(\frac{0{,}93}{3{,}74}\right)^2\right]10^3=9937\ ч;$$

$$D\bar{T}_р=\frac{1}{N_щ}\left(\frac{r-r_{пр}}{\bar{v}}\right)^2\left[\left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}}\right)^2+8\left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}}\right)^4\right]10^6=$$

$$=\frac{1}{56}\left(\frac{35}{3{,}74}\right)^2\left[\left(\frac{0{,}93}{3{,}74}\right)^2+8\left(\frac{0{,}93}{3{,}74}\right)^4\right]\cdot 10^6=144\,000\ ч^2;$$

$$T_{р_{он}}=\bar{T}_р-U_в\sqrt{D\bar{T}_р}=9937-0{,}842\sqrt{144\,000}=9617\ ч.$$

Таблица 2.24. Вычисление значений $\bar{v}$ и σ_v по результатам испытаний щеток, зафиксированных в табл. 2.23

Границы интервалов группировки значений скорости изнашивания щеток	Середина интервала группировки значений v_i	Количество значений v_i, попадающих в данный интервал n_i	Схема вычислений		
			$v_i n_i$	v_i^2	$v_i^2 n_i$
1,75—2,25	2,0	3	6,0	4,00	12,0
2,25—2,75	2,5	6	15,0	6,25	37,5
2,75—3,25	3,0	8	24,0	9,00	72,0
3,25—3,75	3,5	11	38,5	12,25	135,0
3,75—4,25	4,0	12	48,0	16,00	192,0
4,25—4,75	4,5	8	36,0	20,25	162,0
4,75—5,25	5,0	5	25,0	25,00	125,0
5,25—5,75	5,5	2	11,0	30,25	60,5
5,75—6,25	6,0	1	6,0	36,00	36,0
		$\Sigma n_i = N_щ = 56$	$\Sigma v_i n_i = 209,5$		$\Sigma v_i^2 n_i = 831,8$

Средняя скорость изнашивания за 1000 ч

$$\bar{v} = \frac{1}{N_щ}\Sigma v_i n_i = \frac{1}{56}\,209,5 = 3,74 \text{ мм}; \quad \bar{v}^2 N_щ = 3,74^2 \cdot 56 = 784.$$

Среднее квадратичное отклонение за 1000 ч

$$\sigma_v = \frac{1}{N_щ - 1}\left(\Sigma v_i^2 n_i - \bar{v}^2 N_щ\right) = \sqrt{\frac{1}{56-1}(831,8 - 784)} \approx 0,93 \text{ мм}.$$

Полученный результат свидетельствует о том, что при точечной оценке среднего ресурса $\bar{T}_р = 9937$ ч благодаря имеющему место рассеянию параметров износа в качестве нижней его доверительной границы с доверительной вероятностью $\beta = 0,80$ следует принять значение 9617 ч.

Пример 2. По данным примера 1 определить 95%-ный ресурс рассмотренных в нем щеток ($\gamma = 95\%$). Точечная оценка искомой величины, определяемая по формуле (2.17), оказывается равной

$$\bar{T}_{р\gamma} = \frac{r - r_{пр}}{\bar{v} + v_\gamma \sigma_v}\,10^3 = \frac{35}{3,74 + 1,645 \cdot 0,93}\,10^3 \approx 6642 \text{ ч}.$$

Полученное значение определяет время наработки, т. е. время, в течение которого износ 95% работающих щеток не достигает предельного значения.

Пример 3. Используя исходные данные примера 1, определить вероятность безотказной работы рассмотренных в нем щеток за периоды времени $t = 4000$, 6000 и 8000 ч. Расчеты производятся по

формуле (2.20), в которую подставляют $\bar{v}=0{,}00374$ мм/ч и $\sigma_v=0{,}00093$ мм/ч.

$$P(4000)=F_0\left[\frac{\frac{[r-r_{\text{пр}}}{4000}-\bar{v}}{\sigma}\right]=F_0\left[\frac{\frac{35}{4000}-0{,}00374}{0{,}00093}\right]=$$

$$=F_0[5{,}41]=0{,}999;$$

$$P(6000)=F_0\left[\frac{\frac{r-r_{\text{пр}}}{6000}-\bar{v}}{\sigma_v}\right]=F_0\left[\frac{\frac{35}{6000}-0{,}00374}{0{,}00093}\right]=$$

$$=F_0[2{,}25]=0{,}988;$$

$$P(8000)=F_0\left[\frac{\frac{r-r_{\text{пр}}}{8000}-\bar{v}}{\sigma_v}\right]=F_0\left[\frac{\frac{35}{8000}-0{,}00374}{0{,}00093}\right]=$$

$$=F_0[0{,}69]=0{,}752.$$

Полученный результат свидетельствует о том, что через 8000 ч работы на машине останется 75,2% щеток, еще не отказавших из-за предельного износа.

Пример 4. При испытании шести однотипных машин ($m=6$), каждая из которых оборудована комплектом щеток $N_{\text{щ}}=24$ шт., было зарегистрировано разрушение (отказов) $d=6$ щеток. Продолжительность периода испытаний (наработка) составляла $T=1000$ ч. Разрушенные щетки при обслуживании машин заменялись. Определить одностороннюю верхнюю границу интенсивности отказов при доверительной вероятности $\beta=0{,}80$. Расчет производится по формуле (2.21), в которую следует подставить:

$$N_{\text{к}}=N_{\text{щ}}m=24\cdot 6=144;\quad T=1000;\quad d=6\quad \text{и}\quad \frac{\chi^2_{\beta,\,2d+2}}{2}=9{,}1.$$

Подстановка дает:

$$\lambda_{\text{оэ}}=\frac{1}{N_{\text{к}}T}\,\frac{\chi^2_{\beta,2d+2}}{2}=\frac{1}{144\cdot 1000}\cdot 9{,}10=0{,}632\cdot 10^{-4}\ \text{ч}^{-1}.$$

* *
*

В практике работы персонала, осуществляющего испытания щеток, ограничиваются вычислением значений $\bar{v}$ и σ_v по формулам (2.12) и (2.13). Все прочие расчеты проводятся в вычислительном подразделении научного центра по электроугольным изделиям и используются в общесоюзной системе управления их качеством.

2.8.10. Еще одним показателем, характеризующим эксплуатационные свойства щеток, является оценка степени их воздействия на поверхность скольжения коллектора или кольца. Это воздействие может проявляться в виде следов электроэрозии, подгаров, износа

Таблица 2.25. **Формулы и данные для определения показателей надежности работы щеток**

Точечная оценка	Дисперсия оценки	Односторонняя нижняя доверительная граница с доверительной вероятностью
	Средний ресурс	
$\bar{T}_р = \frac{r - r_{пр}}{\bar{U}}\left[1 + \frac{\sigma_v^2}{\bar{U}}\right]^*$ (2.14)	$D\bar{T}_р = \frac{1}{N_щ}\left(\frac{r - r_{пр}}{\bar{v}}\right)^2\left[\left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}}\right) + 8\left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}}\right)^4\right]$ (2.15)	$T_{р_{он}} = \bar{T}_р - U_\beta\sqrt{D\bar{T}_р}$ (2.16)
	Гамма-процентный ресурс	
$\bar{T}_{р\gamma} = \frac{r - r_{пр}}{\bar{U} + v_\gamma\sigma_v}$ (2.17)	$\frac{\sigma_v^2\bar{T}_{р\gamma}^2}{N_щ}\frac{1 + \frac{N_щ v_\gamma^2}{2N_щ - 3}}{(\bar{U} + v_\gamma\sigma_v)^2}$ (2.18)	$\bar{T}_{р\gamma_{он}} = T_{р\gamma} - U_\beta\sqrt{D\bar{T}_{р\gamma}}$ (2.19)

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = F_0\left[\frac{\frac{r - r_{пр}}{t} - \bar{v}}{\sigma_v}\right] \quad (2.20)$$

Односторонняя верхняя доверительная граница интенсивности внезапных отказов с доверительной вероятностью β

$$\lambda_{oз} = \frac{1}{N_к T}\frac{\chi^2_{\beta,\,2d+2}}{2} \quad (2.21)$$

* Точность формулы (2.11) увеличивается по мере уменьшения значения члена $\sigma_v/\bar{v}$.

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения и вспомогательные величины: r — начальный радиальный размер щетки, мм; $r_{пр}$ — предельный радиальный размер щетки, мм; $N_щ$ — количество щеток, на которых определялся износ; $N_к$ — полное количество щеток на машине (комплект); d — количество щеток, снятых при испытании из-за повреждений (количество отказов); T — продолжительность испытаний, ч; U_β — квантиль нормального закона распределения, определяемый по ГОСТ 27503-81; при $\beta = 0{,}80$, $U_\beta = 0{,}842$, v_γ — квантиль нормального закона распределения, соответствующий заданному уровню регламентированной вероятности γ, определяемый из ряда.

γ, % . . . . 99 95 90 85 v_γ 2,326 1,645 1,282 1,036

$\bar{v}$ и σ_v — величины, определяемые по формулам (2-9) и (2-10) или (2-12) и (2-13); F_0 — функция, вычисленные значения которой приведены в табл. 1 ГОСТ 19160-71 (см. приложение 2); $\left(\chi^2_{\beta,\,2d+2}\right)/2$ — множитель, значения которого при $\beta = 0{,}80$ для различных d приведены

d	$\frac{\chi^2_{\beta,\,2d+2}}{2}$	d	$\frac{\chi^2_{\beta,\,2d+2}}{2}$	d	$\frac{\chi^2_{\beta,\,2d+2}}{2}$	d	$\frac{\chi^2_{\beta,\,2d+2}}{2}$
0	1,61	7	10,25	13	17,00	19	23,65
1	3	8	11,40	14	18,15	20	24,75
2	4,28	9	12,50	15	19,25	21	25,85
3	5,5	10	13,65	16	20,35	22	26,90
4	6,70	11	14,80	17	21,45	23	28,05
5	7,90	12	15,90	18	22,55		
6	9,10						

и заволакивания. Первые два названных явления связаны с искрением в зоне контакта, и они исчезают вместе с устранением этого искрения. Здесь же речь пойдет об износе и заволакивании. В связи с тем что время взаимодействия каждого данного участка поверхности скольжения коллектора или кольца со щетками относительно невелико, его износ при нормальных условиях эксплуатации оказывается крайне незначительным. По указанной причине п. 29 «Протокола испытания щеток» фиксирует соответствующее состояние коллекторных пластин только в качественном отношении. Если же по каким-либо обстоятельствам возникнет необходимость в количественной оценке этого показателя, то для ее получения необходимо измерить изменение размера коллектора или кольца на разных этапах испытаний. У малых машин для этой цели применяется штангенциркуль. Состояние поверхностей скольжения коллекторов крупных машин оценивается по размеру зазора, измеряемого с помощью металлической линейки и набора щупов. Узкая грань линейки укладывается вдоль коллекторной пластины таким образом, чтобы она перекрывала всю рабочую часть и опиралась на ее нерабочие части. Образовавшийся между гранью линейки и рабочей поверхностью коллектора зазор измеряют щупом. Описанным образом диаметры или зазоры измеряются на 2—4 пластинах (контрольных точках). Две-три ревизии, выполненные на разных этапах испытаний, дают возможность определить, насколько уменьшились радиусы коллекторов или увеличились размеры зазоров. Отнеся изменения контролируемых размеров к продолжительности испытаний, получают величину, называемую **скоростью изнашивания коллектора (кольца)** $\bar{v}_{к}$. Точность описанного способа измерения износа коллекторов можно повысить, если вместо линейки и щупа воспользоваться прибором типа БВ-662, изготавливаемым заводом «Калибр».

Заволакивание, или как еще называют это явление «затяжка», проявляет себя образованием на краях коллекторных пластин «козырьков», нависающих над промежутками между этими пластинами. Образование «козырьков» происходит постепенно. Они могут располагаться как по всей длине рабочей части коллекторной пластины, так и только по отдельным щеточным следам. Главная опасность рассматриваемого явления состоит в том, что по мере своего развития «козырьки» во все большей мере перекрывают пространство между коллекторными пластинами и создают условия для возникновения единичных вспышек на коллекторе, перебросов по нему электрических дуг и даже появления кругового огня.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЩЕТОК

3.1. Проверка и настройка электромагнитных цепей электрических машин

3.1.1. Среди многочисленных факторов, определяющих возможность удовлетворительной эксплуатации щеточно-коллекторного узла, чрезвычайно важным показателем является техническое состояние электрической машины. Определение этого состояния следует начать с проверки правильности соединений различных частей обмоток, расположенных на полюсах машины. В наиболее общем случае на главных полюсах электрической машины постоянного тока могут находиться обмотки параллельного, последовательного и независимого возбуждения, пусковые, уравнительные и обмотки специального назначения. Добавочные полюсы могут нести на себе основные последовательные обмотки и вспомогательные обмотки параллельного или независимого возбуждения. Наконец, в пазах полюсных башмаков главных полюсов могут располагаться компенсационные обмотки, создающие магнитный поток, ось которого совпадает с осью добавочных полюсов. Маркировка выводов обмоток, устанавливаемая ГОСТ 183-74, должна быть следующей:

Выводы обмоток	Обозначение выводов	
	Начало	Конец
Обмотки якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Независимая обмотка возбуждения	Н1	Н2
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотки особого назначения	О1; О3	О2; О4

Если в машине имеется несколько обмоток одного наименования, то их начала и концы должны иметь цифровые обозначения: 1—2, 3—4, 5—6 и т. д. Понятия «начало» и «конец» обмоток определяют следующим образом: если смотреть на машину со стороны, противоположной коллектору, то при вращении в двигательном режиме в направлении движения часовой стрелки (правое вращение) ток во всех обмотках (за исключением размагничивающих обмоток главных полюсов) должен протекать от начала 1 к концу 2.

3.1.2. Основное правило соединения элементов различных обмоток между собой состоит в том, чтобы на каждом из двух соседних полюсов они образовали магнитные поля противоположной полярности. Сформулированное условие выполняется, когда катушки обмо-

ток соединяются по одной из схем, показанных на рис. 3.1 Правильность выполненного соединения для катушек, состоящих из небольшого количества витков значительного сечения и не закрытых изоляцией, можно проверить, прослеживая направление протекания тока в обмотке. При несоблюдении перечисленных условий порядок чередования полярности можно выявить путем непосредственного определения знака магнитного поля, создаваемого данным полюсом. Для указанной цели через проверяемую обмотку пропускается ток, который зависит от характера обмотки и подбирается так, чтобы создаваемое магнитное поле оказывало воздействие на помещаемый в него индикатор. Простейшим видом такого индикатора является магнитная стрелка, подвешиваемая на тонкой эластичной нити к планке из немагнитного материала. Для того чтобы это приспособление можно

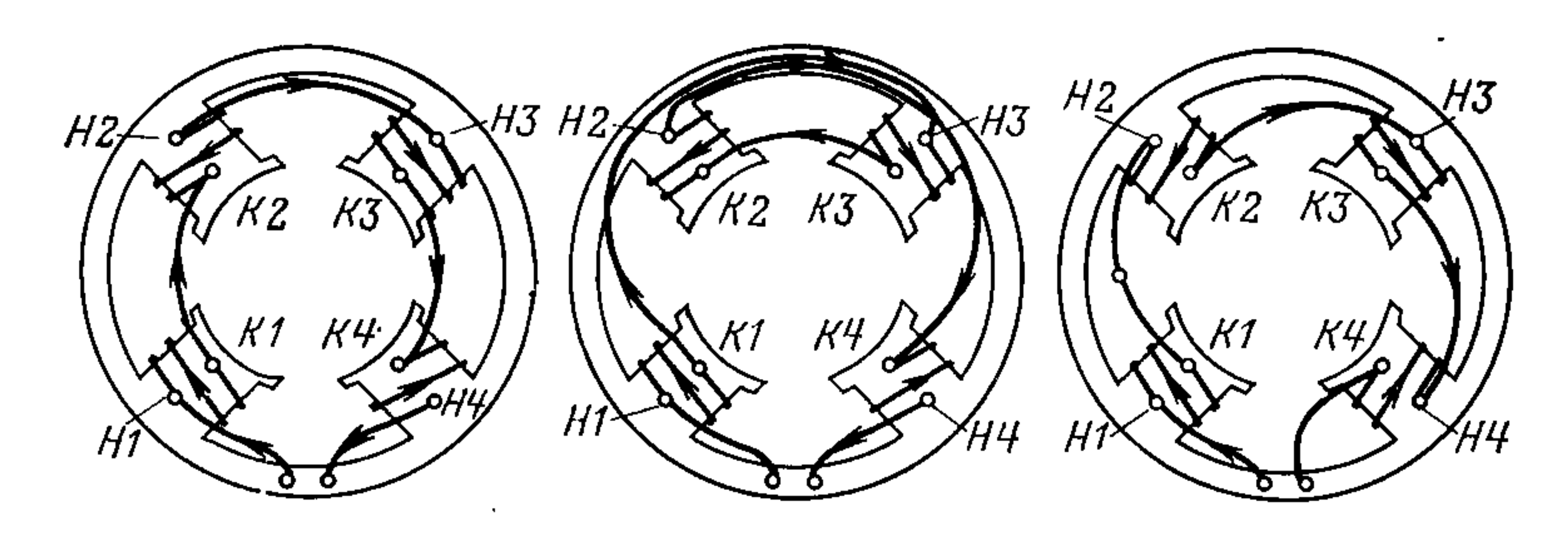


Рис. 3.1 Способы соединения катушек полюсов, обеспечивающие требуемый порядок чередования их полярности

было вводить в зазор собранной машины, длина нити для подвеса стрелки должна быть небольшой. Если же из-за особенностей конструкции машины доступ к полюсам закрыт, то чередование их полярности можно определить, поднося стрелку индикатора к болтам, крепящим сердечник полюса к ярму. При этом следует иметь в виду, что полярность полюса со стороны якоря имеет противоположный знак по сравнению с полярностью со стороны ярма.

3.1.3. Правильные схемы соединения обмоток при различных режимах работы, направлениях вращения и системах возбуждения показаны на рис. 3.2. Особенность изображенных здесь схем состоит в том, что начало обмотки якоря *Я1* всегда соединено со щетками той полярности, к которым подключен положительный провод сети. При правильном соединении электрических цепей обеспечиваются следующие главнейшие условия эксплуатации машин: реверс создают изменением направления тока либо во всех последовательных, либо во всех параллельных обмотках; изменение режима работы с генераторного на двигательный или наоборот при неизменном направлении вращения якоря осуществляют переменой направления тока во всех последовательных цепях (обмотки и якоря), причем направление тока во всех параллельных цепях должно оставаться без изменения.

3.1.4. Для проверки правильности соединения обмоток якоря, добавочных полюсов и компенсационной обмотки служат схемы, показанные на рис. 3.3. Левая часть схемы позволяет определить направление магнитных полюсов якоря и добавочных полюсов, которое при нормальных условиях работы машины должно быть встречным. Для использования схемы в зазор между якорем и добавочным полюсом вставляют плоскую катушку с большим количеством витков, прикреп-

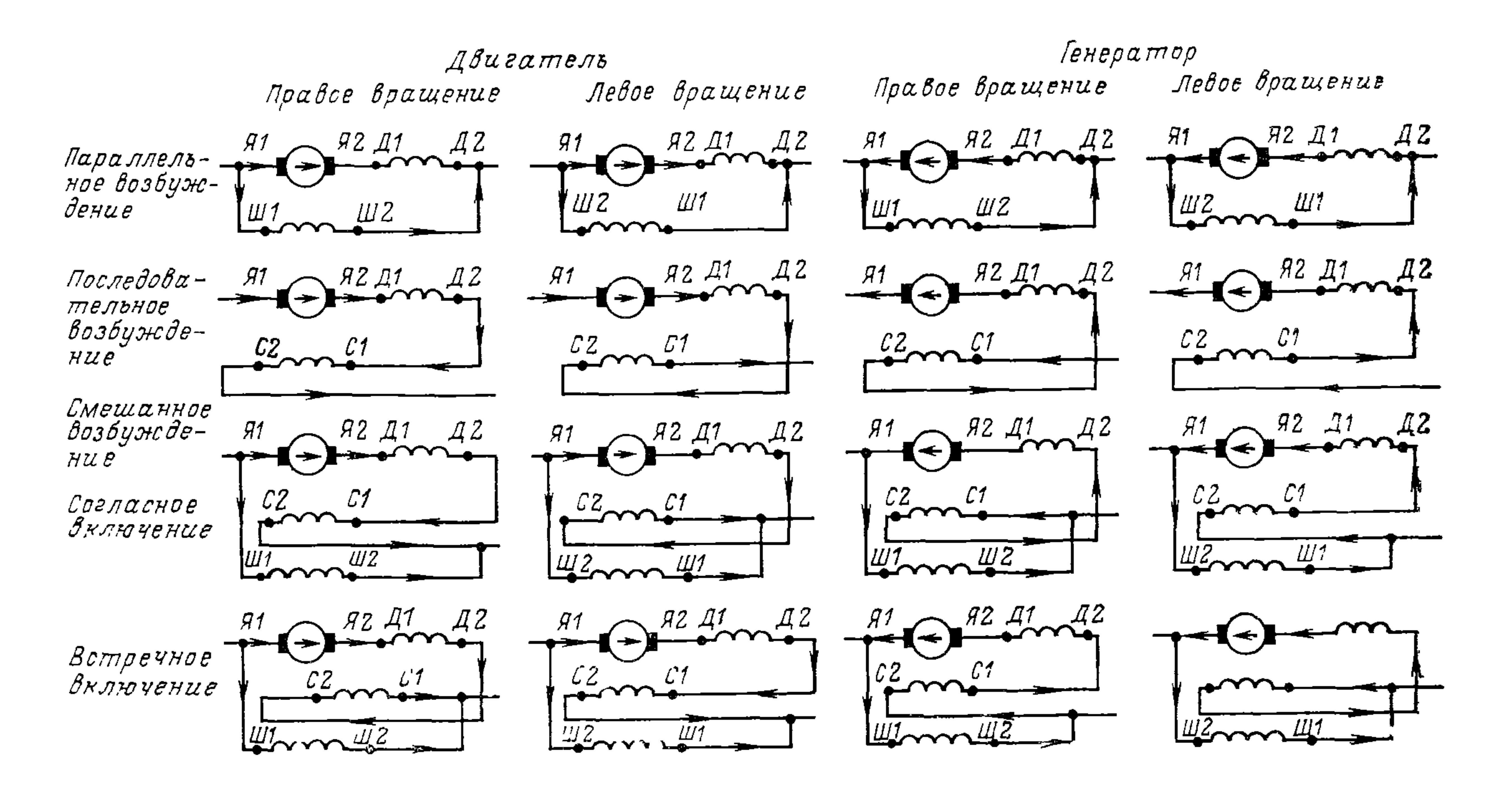


Рис. 3.2. Схема соединения обмоток электрических машин при различных режимах работы, направлениях вращения и системах возбуждения

ленную к тонкой пластинке из немагнитного материала. Концы катушки соединяют с милливольтметром, а якорь подключают к источнику постоянного тока с известной полярностью (рис. 3.3,*а*). Пропустив через якорь ток, значение которого не превышает 10% номинального, производят размыкание цепи, наблюдая за направлением отклонения стрелки милливольтметра. После этого, не вынимая катушки из зазора, подают питание на обмотку добавочных полюсов, сохраняя полярность, которая была при питании обмотки якоря (рис. 3.3, *б*).

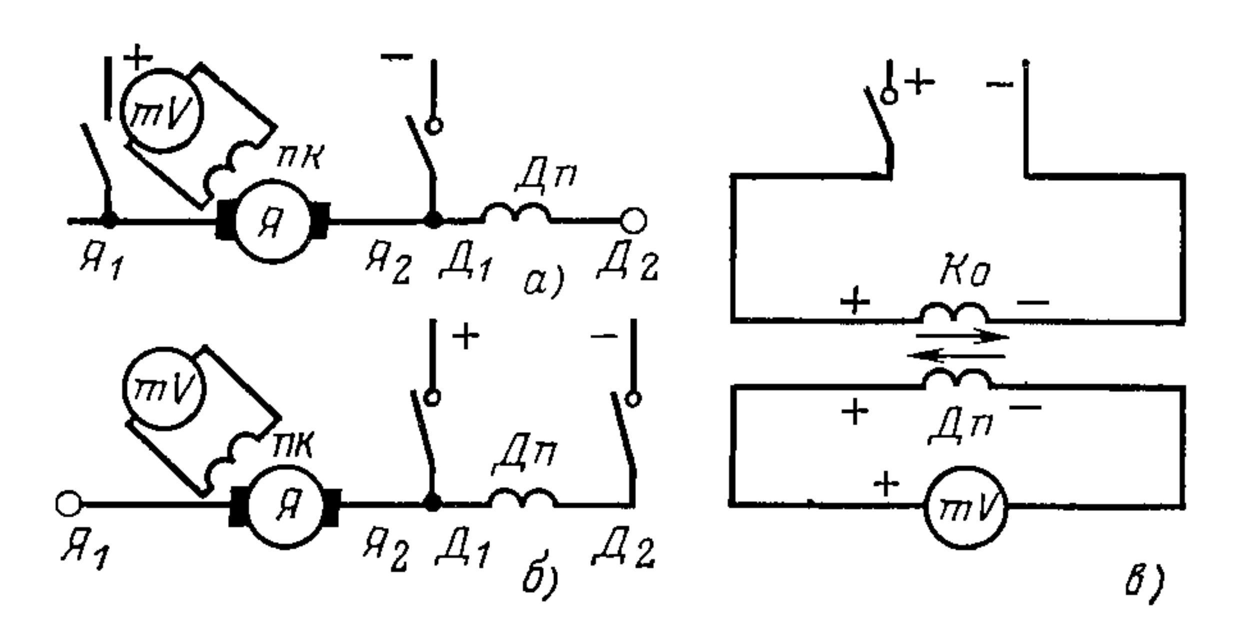


Рис. 3.3. Схемы проверки правильности соединений обмотки якоря (*Я*), обмотки добавочных полюсов (*Дп*) и компенсационной обмотки (*Ко*): *mV* — милливольтметр; *пк* — плоская катушка

Размыкая цепь обмотки добавочных полюсов, наблюдают за отклонением стрелки милливольтметра. Если при этом направление отклонения его стрелки окажется противоположным тому, которое наблюдалось при отключении цепи якоря, то следует считать, что обмотки якоря и добавочных полюсов соединены правильно.

3.1.5. Магнитные потоки компенсационной обмотки и добавочных полюсов должны быть направлены согласно. Если эти обмотки разделены, то для проверки правильности их соединения пользуются схемой, показанной на рис. 3.3,*в*. При правильном (согласном) включении рассматриваемых обмоток в момент кратковременного подключения компенсационной обмотки к низковольтному источнику постоянного тока стрелка милливольтметра отклонится вправо, а при размыкании — влево. В крупных машинах постоянного тока, у которых катушки обмоток добавочных полюсов чередуются с катушками компенсационной обмотки, правильность их включения определяется проверкой направления намотки витков в обмотках с помощью правила буравчика.

При всех обследованиях полярности главных $N — S$ и добавочных $n — s$ полюсов необходимо помнить, что при обходе их по направлению вращения якоря порядок чередования полюсов должен быть следующим: у генераторов $N — s — S — n$, у двигателей $N — n — S — s$.

3.1.6. Ориентировка полярности щеток по отношению к полярности главных полюсов при правильном соединении обмоток должна соответствовать показанному на рис. 3.4, *а*. Проверку полярности можно провести с помощью схемы, приведенной на рис. 3.4, *б*. К двум точкам коллектора *а* и *б*, отстоящим от нейтрального положения щеток на угол 10—15° в направлении вращения якоря, присоединяют вольтметр. Подключив начало обмотки возбуждения ма-

шины к положительному полюсу источника напряжения, наблюдают за поведением стрелки вольтметра. Если она в момент включения отклонится вправо, то положительной является щетка, находящаяся возле точки *a*. Рассматриваемую проверку можно провести еще одним способом. Обмотку возбуждения машины подключают к источнику постоянного тока заданной полярности, способному создать в

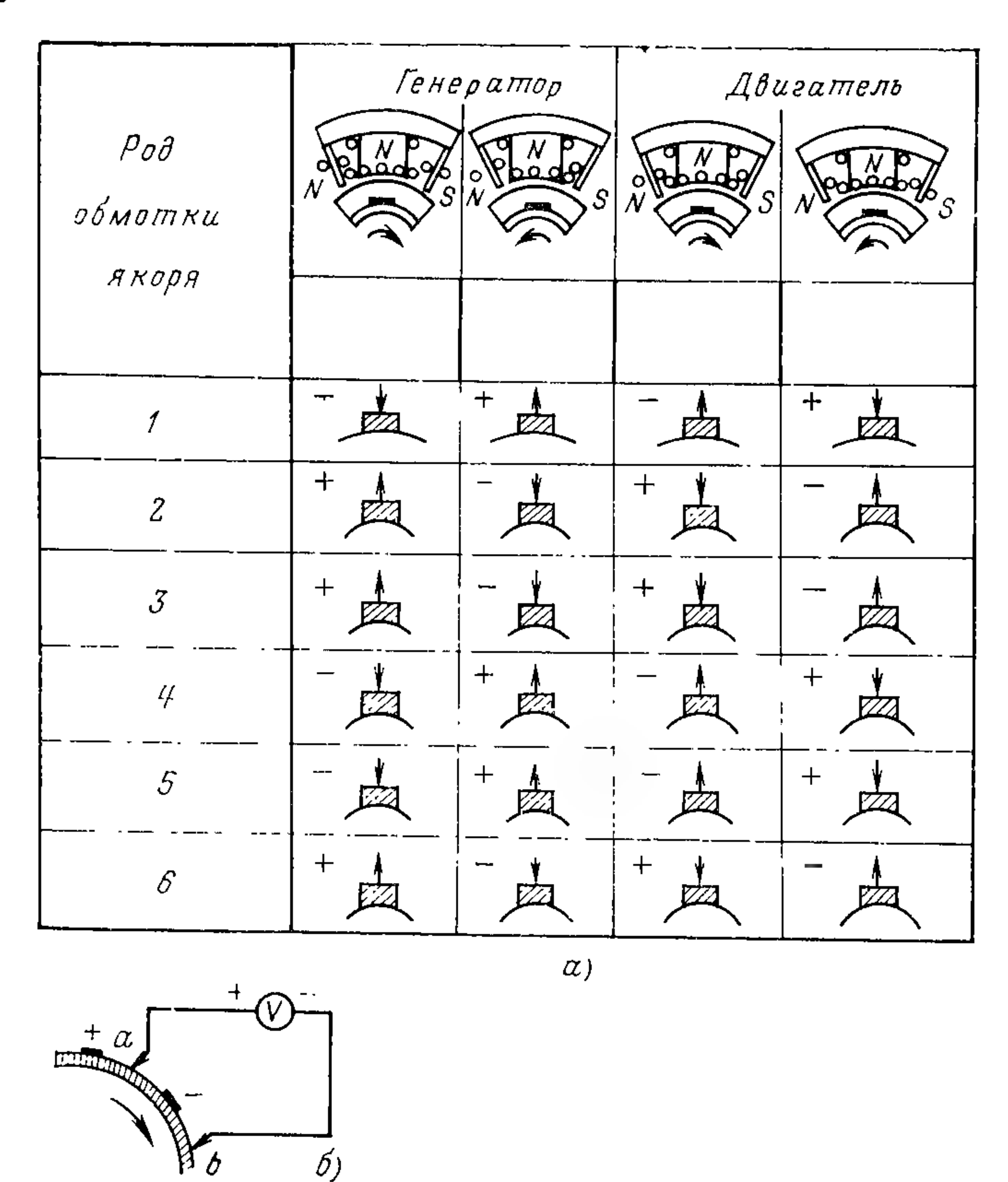


Рис. 3.4. Полярность щетки, расположенной против северного полюса электрической машины постоянного тока с различными обмотками якоря (*a*), и схема ее определения (*б*). Род обмотки якоря:

1 — петлевая неперекрещенная обмотка с радиальными петушками; *2* — та же обмотка с эвольвентными петушками; *3* — петлевая перекрещенная обмотка с радиальными петушками; *4* — та же обмотка с эвольвентными петушками; *5* — волновая обмотка неперекрещенная; *6* — та же обмотка перекрещенная

полюсах поток, превышающий остаточный. Присоединив вольтметр к щеткам якоря, последний проворачивают в сторону заданного направления вращения от руки, рычагом или краном. По отклонению стрелки вольтметра судят о полярности щеток.

3.1.7. Наряду с обеспечением правильного выполнения соединений обмоток необходимо иметь уверенность в том, что внутри обмоток

отсутствуют какие-либо дефекты. Последний показатель оценивается путем определения сопротивлений обмоток. При выполнении соответствующих измерений в обмотках машин постоянного тока необходимо учитывать особенности каждой из них. Обмотки параллельного и независимого возбуждения обладают значительными сопротивлениями и индуктивностями, и их концы обычно бывают выведены на доску выводов. Обмотки последовательного возбуждения главных полюсов и обмотки добавочных полюсов обладают весьма малыми сопротивлениями, и их концы не всегда выводятся на доску. Обычно на эту доску делают вывод только одного конца обмотки, а другой ее конец присоединяют внутри машины к сборной шине щеточной траверсы или к какому-нибудь другому предусмотренному схемой элементу. Кроме того, с целью подавления радиопомех, обмотки добавочных полюсов, а иногда и обмотки последовательного возбуждения,

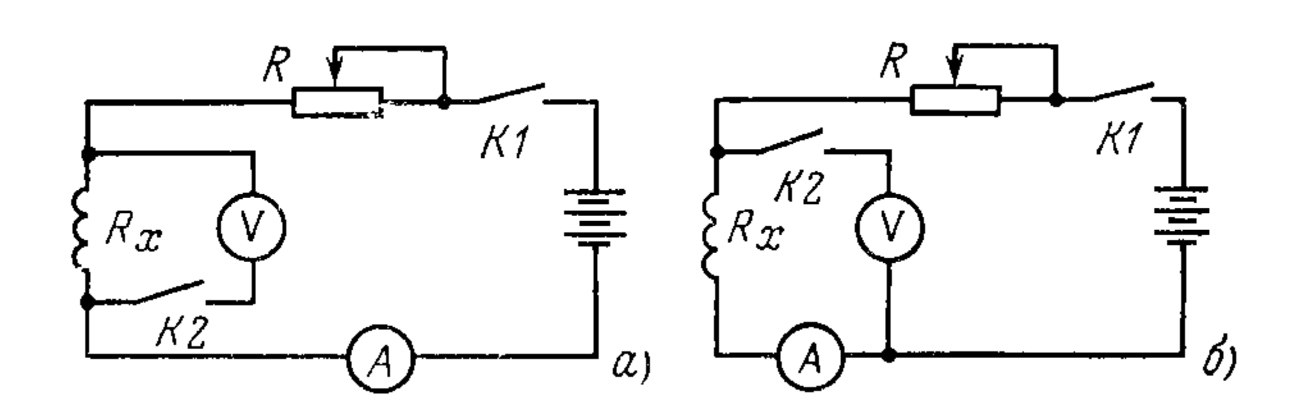


Рис. 3.5. Схемы измерения малых (*а*) и больших (*б*) сопротивлений обмоток

выполняют симметрированными, т. е. подразделенными на две равные части, включаемые по обе стороны якоря. Наконец, у компенсационной обмотки тоже обычно нет самостоятельных выводов, так как ее катушки чередуются с катушками обмотки добавочных полюсов. Таким образом, оценка состояния обмоток машины, основанная на измерении их сопротивлений, представляет собою достаточно трудоемкую работу, основные этапы которой определены ГОСТ 11828-75 и ГОСТ 10159-79. Первый из указанных стандартов устанавливает, что необходимые измерения следует производить непосредственно на выводах обмоток, а в качестве источника питания измерительной схемы следует применять батареи аккумуляторов, гальванических элементов или какой-либо иной источник постоянного тока с неизменным напряжением. Требуемые измерения следует проводить по одному из следующих методов: амперметра — вольтметра, одинарного моста (Уинстона) [1], двойного моста (Томсона) или омметра логометрической системы. Наибольшим распространением пользуется первый из перечисленных методов, схемы которого показаны на рис. 3.5. При использовании схемы *а* определяемое значение сопротивления рассчитывается по формуле

$$R_x = U/I - U/R_в, \quad (3.1)$$

а, произведя измерения по схеме *б*, искомое значение вычисляют по формуле

$$R_x = (U - IR_а)/I, \quad (3.2)$$

---

[1] При измерении сопротивлений менее 1 Ом применение данного метода недопустимо

где $R_а$ — внутреннее сопротивление амперметра, Ом; $R_в$ — внутреннее сопротивление вольтметра, Ом; U — измеренное падение напряжения, В; I - измерительный ток, А.

Значение R_x должно быть таким, чтобы адиабатическое повышение температуры обмотки за время измерения не превышало 1° С. Скорость подобного повышения температуры подсчитывается с помощью формулы

$$\Delta I/\Delta t = J^2/Q, \qquad (3.3)$$

где J — плотность тока в обмотке при проведении измерений, А/мм²; Q — член, зависящий от материала обмотки. Для меди $Q=200$, для алюминия $Q=86$.

Если сечение обмотки неизвестно, значение измерительного тока не должно превышать 15—20% номинального тока данной обмотки, а длительность его протекания $\leqslant 1$ мин.

Во избежание повреждения измерительных приборов вольтметр следует подключать только после достижения установившегося значения тока в обмотке и отключать перед каждым изменением тока. При измерении сопротивления обмотки возбуждения ток перед отключением снижают до значения $\leqslant 5\%$ номинального.

Все описанные измерения должны проводиться при таком состоянии машины, когда температура обмоток не более чем на ±3° С отличается от температуры окружающей среды. Работавшая машина приходит в такое состояние после отключения через следующие промежутки времени:

Мощность машины, кВт	До 10	10—100	100—1000
Время выдержки, ч, не менее	5	8	16

С учетом ГОСТ 11828-75 необходимо, чтобы при измерении сопротивления обмоток каждое сопротивление измерялось не менее трех раз: при измерении методом вольтметра — амперметра — при различных значениях тока, а при измерении одинарным или двойным мостом — каждый раз после нарушения равновесия моста. За действительное сопротивление следует принимать среднее арифметическое всех измеренных значений. Результаты измерения одного и того же сопротивления не должны отличаться от среднего значения более чем на ±0,5%.

Поскольку в процессе проведения описываемых измерений установившаяся температура машины и окружающей среды может колебаться, полученные результаты принято приводить к температуре 15° С. Для приведения служит формула

$$R_{15} = \frac{R_\theta}{1 + \alpha_т(\theta - 15)}, \qquad (3.4)$$

где R_{15} — сопротивление, приведенное к температуре 15° С; R_θ — измеренное сопротивление при температуре 0° С; $\alpha_т$ — температурный коэффициент сопротивления: для меди 0,0043, для алюминия 0,0040° С$^{-1}$.

Полученные результаты такого приведения значения сопротивлений обмоток и их частей следует сравнить с паспортными.

Согласно требованиям правил устройства электроустановок (ПУЭ-76) сопротивления постоянному току параллельной и последовательной обмоток, а также обмотки дополнительных полюсов не

должны отличаться от ранее измеренных или заводских данных больше чем на ±2%.

3.1.8. Тщательность, проявленная при проверке электрических цепей магнитной системы, должна соблюдаться и в отношении цепей якоря, в состав которых входят коллекторные пластины, петушки, обмотки и соединения между ними. Состояние этих цепей оценивается значением их электрического сопротивления, способы измерения которого определяются типом якорной обмотки. В случае простой петлевой обмотки с любым числом пар полюсов, не имеющей уравнительных соединений, и при любой однократно замкнутой обмотке с нечетным числом пар полюсов измерения проводят следующим образом: к паре рядом расположенных коллекторных пластин, с помощью двух токовых щупов от небольшой аккумуляторной батареи, подводят ток (рис. 3.6). Одновременно с пропусканием тока на этой же паре пластин милливольтметром (шкала 15—45 мВ) измеряют падение напряжения между ними. Подобные измерения при постоянном значении тока выполняют на каждой паре пластин при последовательном обходе коллектора по окружности. Состояние проверяемых цепей считается удовлетворительным, если отклонение измеренных описанным способом падений напряжения для любой пары пластин не превысит ±5% среднего значения (справедливо для крупных машин). Если обмотки якоря снабжены неполным числом уравнительных соединений, измеряемое милливольтметром значение будет закономерно изменяться. Минимальное значение будет получаться на пластинах, снабженных уравнительными соединениями, а максимальное — на пластинах, наиболее удаленных от них. Если сопротивление секций обмоток численно мало и для получения отсчета на милливольтметре окажется необходимым вводить в цепь слишком большой ток, схему измерений можно изменить. Вместо подачи питания на соседние пластины можно подать его на две диаметрально противоположные. При четном числе пар полюсов точки подвода питания следует удалить друг от друга на нечетное число полюсных делений.

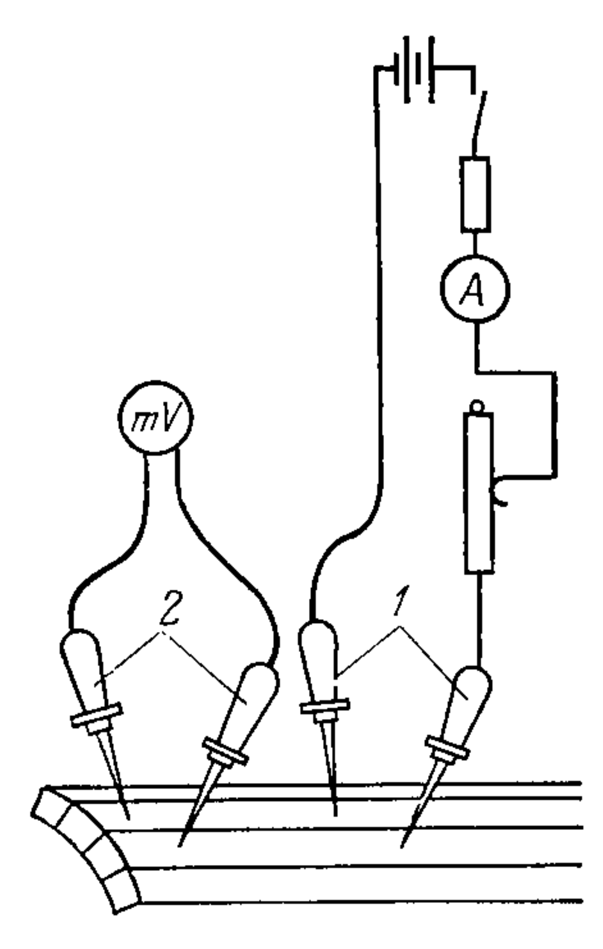


Рис. 3.6. Схема для проверки соединений обмотки якоря машины:

1 — щупы цепи аккумуляторов батареи: *2* — щупы милливольтметра

В случае, если якорь снабжен волновой обмоткой, милливольтметр подключают не к соседним коллекторным пластинам, а к пластинам, отстоящим друг от друга на полный шаг обмотки по коллектору. Эти пластины находятся без труда, так как напряжение между ними всегда является наименьшим.

Описываемые измерения в машинах малой и средней мощности следует проводить при поднятых щетках. В машинах большой мощности параллельные соединения, создаваемые щетками, мало влияют на результаты измерений.

3.1.9. Воздушные зазоры между неподвижными и вращающимися частями электрических машин являются участками магнитопроводов и равенство этих зазоров обуславливает симметрию магнитных

потоков. Для машин постоянного тока номинальные значения этих зазоров обычно находятся в следующих пределах:

Мощность, кВт	Зазор, мм
До 50	1,5—3,0
От 50 до 200	3,0—5,0
Свыше 200	5,0—10,0

Размеры зазоров определяют с помощью набора щупов. Ширина щупа должна быть меньше ширины зубцов, и при измерениях щуп не должен попадать на пазовый клин или бандаж. Измерения производят под средней частью каждого полюса с двух сторон. При этом следует иметь в виду, что установленные для данной машины зазоры, измеренные на различных участках магнитопровода, не должны отличаться от среднеарифметических более чем на определенное значение. Завод «Электросила» рекомендует следующие отклонения:

Машины	Предельно допустимые отклонения, %
Постоянного тока с петлевой обмоткой при зазорах между якорем и добавочными полюсами до 3 мм включительно	±10
То же при зазорах более 3 мм . . .	±5
Постоянного тока с волновой обмоткой (зазор между якорем и главными полюсами)	Допуски могут быть увеличены в 2,0—2,5 раза
Постоянного тока (зазор между якорем и добавочными полюсами)	±5

По данным ПУЭ размеры зазоров в диаметрально противоположных точках магнитопроводов не должны отличаться более чем на 10% от среднеарифметического значения. Для возбудителей турбогенераторов мощностью 300 МВт и более это отличие не должно превышать 5%.

3.1.10. Оценка состояния электрических и магнитных цепей еще не гарантирует нормального протекания коммутационного процесса. По указанной причине ГОСТ 183-74 требует определения области безыскровой работы (для машин с добавочными полюсами) и проверки качества коммутации. В процессе этого определения представляется возможным произвести настройку электрической машины и сделать ее работу в коммутационном отношении наиболее надежной. Принципиальная схема опыта по определению области безыскровой работы показана на рис. 3.7. Схема предусматривает использование потенциометра, дающего возможность изменять направление тока в цепи добавочных полюсов изменением направления тока в обмотке возбуждения вспомогательного генератора. При отсутствии потенциометра в схему нужно ввести переключатель, позволяющий реверсировать ток в обмотке добавочных полюсов. Желательно также, чтобы амперметр, измеряющий добавочный ток в этой обмотке, имел нуль посредине шкалы. Другую переменную величину в рассматриваемом опыте, ток якоря, изменяют, заставляя работать испытуемую машину либо в режиме нагрузки, либо в режиме короткого замыкания.

Опыт начинают с холостого хода ($I_п = 0$), постепенно увеличивая ток в обмотках дополнительных полюсов (ток подпитки $I_п$) до появления первой искры под какой-либо из щеток. Зафиксировав

значение $I_{п1}$, вызвавшее появление этой искры, ток снижают, доводят до нуля, а затем после перемены знака снова увеличивают до тех пор, пока под какой-либо из щеток не возникает искрение. Получив новое значение $I_{п2}$, т. е. ток отпитки, не нарушая состояния цепи питания добавочных полюсов, увеличивают ток цепи якоря, доведя его до 25% от номинального. Обычно возникающее при этом искрение ликвидируют некоторым снижением тока $I_п$. Зафиксировав значение $I_{п3}$, при котором устраняется это искрение, не изменяя значения $I_{п3}$, снова реверсируют ток в цепи добавочных полюсов, замечая новое значение $I_{п4}$, при котором возникла первая искра. Установив далее в цепи якоря ток, значение которого составляет 50% от номинального, таким же образом определяют токи подпитки-отпитки в соответствии со схемой, показанной на рис. 3.8. Ток якоря при этом

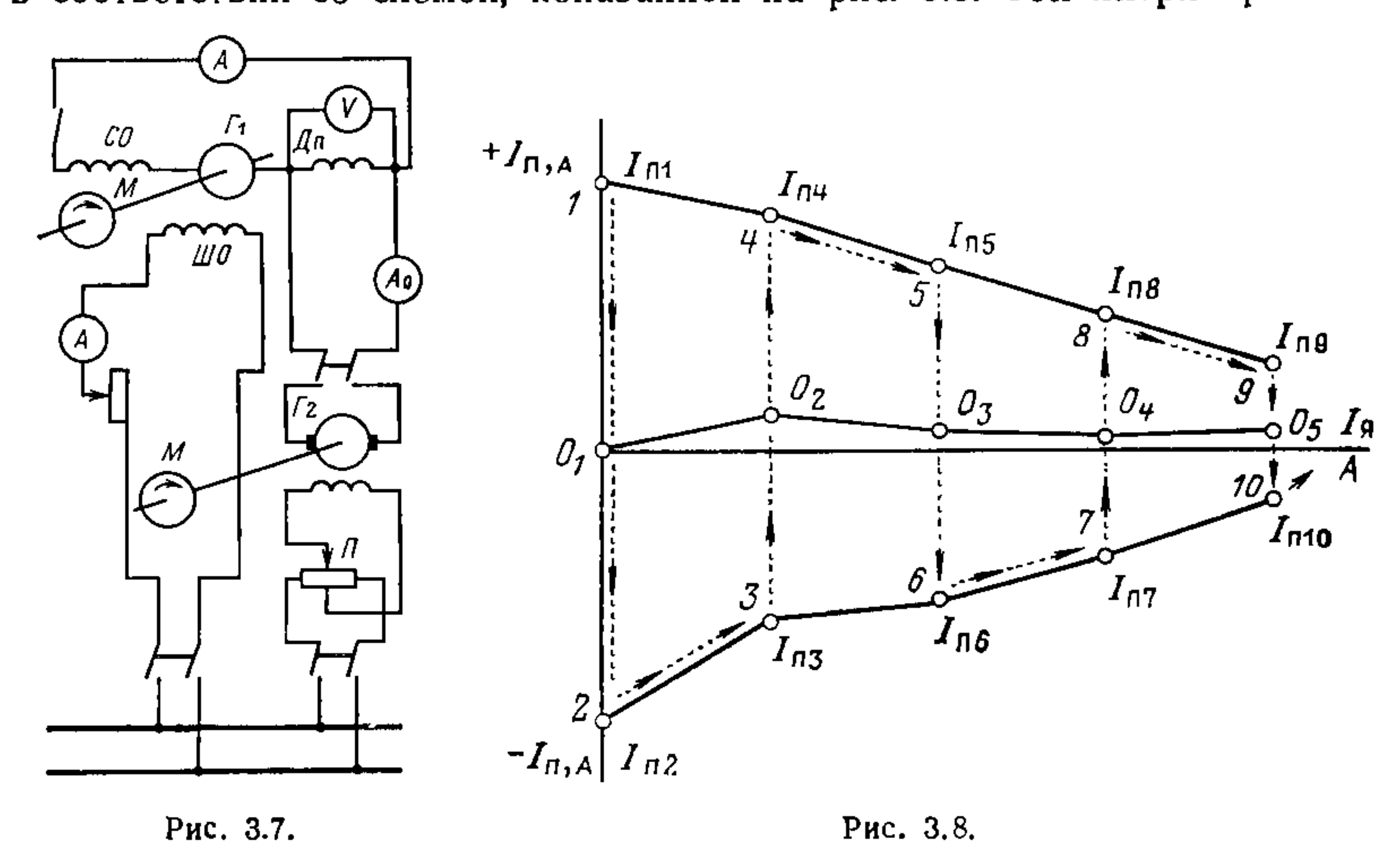


Рис. 3.7. Рис. 3.8.

Рис. 3.7. Принципиальная схема опыта по определению области безыскровой работы:

$Г_1$ — испытуемая машина; $Г_2$ — генератор дополнительного питания; *М* — приводные двигатели; *СО* — последовательная обмотка; *Дп* — обмотка дополнительных полюсов; *ШО* — параллельная обмотка; *П* — потенциометр; A_0 — амперметр с нулевой отметкой посередине шкалы

Рис. 3.8. Последовательность проведения опыта по определению области безыскровой работы

последовательно повышается на 25% и доводится до $(1,25—1,5)I_{ном}$. Соединив далее середины отрезков 1—2, 3—4, 5—6, 7—8 и 9—10 линией O_1, O_2, O_3, O_4, O_5, получают положение средней линии области безыскровой работы.

3.1.11. Конфигурация области безыскровой работы свидетельствует о коммутационной надежности машины, а положение средней линии этой области характеризует настройку добавочных полюсов и компенсационной обмотки (рис. 3.9). В случае, если необходимо изменить положение средней линии безыскровой области, то сделать это можно, либо изменяя число витков обмотки добавочных полюсов, либо изменяя размер зазора. Для определения нового числа витков служит формула

$$W'_{д,п} = W_{д,п}(1 + I_п/I_я). \tag{3.5}$$

Новый размер зазора рассчитывают по формуле

$$\rho'_{д,п} = \frac{\rho_{д,п}}{1 + \frac{\Delta I_п}{I_я} \frac{\theta}{\theta - 1}}, \qquad (3.6)$$

где $W'_{д,п}$ — оптимальное число витков обмотки добавочных полюсов; $W_{д,п}$ — существующее число витков обмотки этих полюсов; $\rho'_{д,п}$ — оптимальный размер воздушного зазора между добавочным полюсом

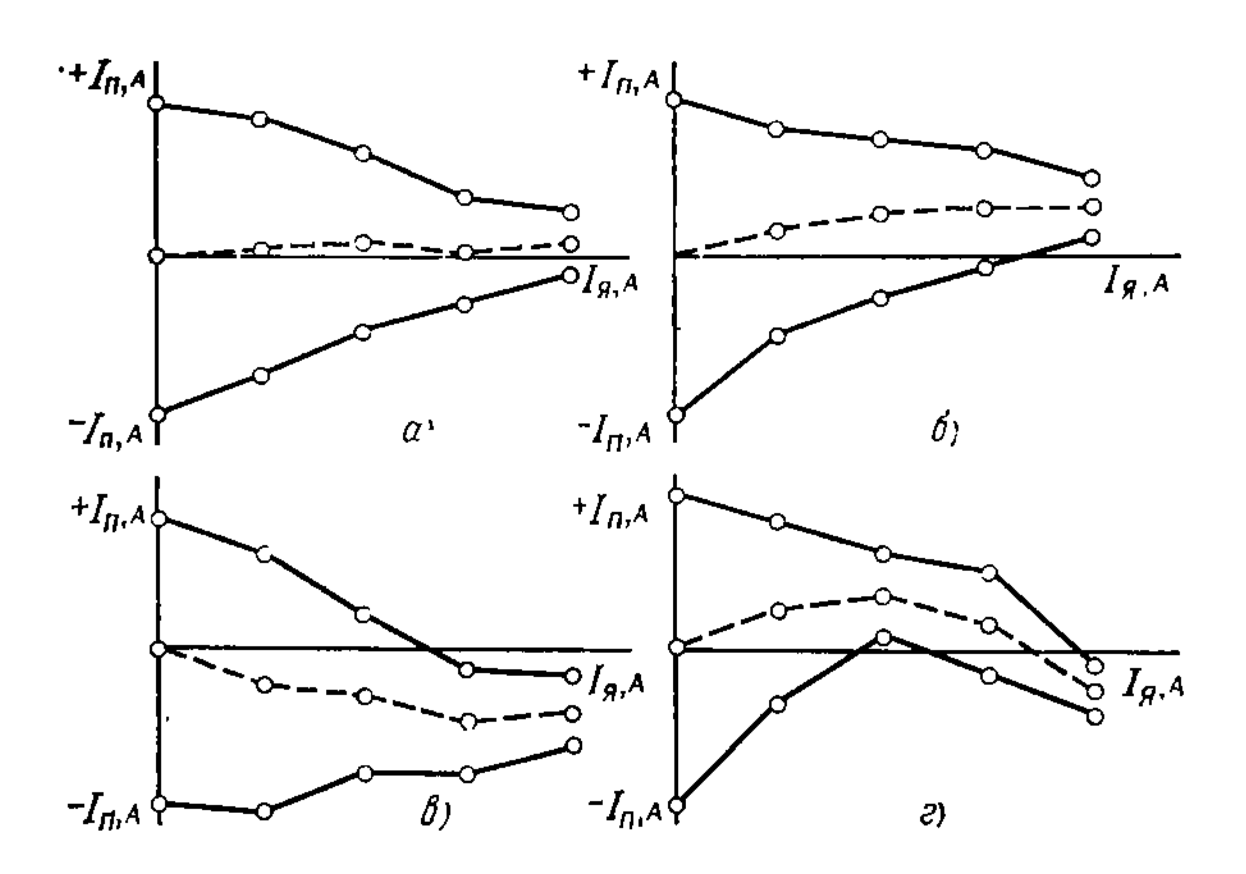


Рис. 3.9. Расположение средней линии области безыскровой работы при различном состоянии поля добавочных полюсов и компенсационной обмотки:

а — средняя линия практически совпадает с осью абсцисс — поле добавочных полюсов является оптимальным; *б* — средняя линия расположена над осью абсцисс — поле добавочных полюсов слишком слабо; *в* — средняя линия расположена под осью абсцисс — поле добавочных полюсов слишком сильно; *г* — средняя линия пересекает ось абсцисс — машина недостаточно компенсирована

и якорем, мм; $\rho_{д,п}$ — существующий размер этого зазора, мм; $I_я$ — ток якоря, для которого желательно отрегулировать положение добавочных полюсов, А; $\Delta I_п$ — соответствующее ему отклонение средней линии области безыскровой работы от оси абсцисс, А; θ — отношение намагничивающей силы добавочных полюсов и компенсационной обмотки к МДС, вычисляемой по формуле

$$\theta = \frac{8pa\,(w_{д,п1} + w_{к1})}{N_я\, a_{д,к}}, \qquad (3.7)$$

где p — число пар полюсов машины; a — число пар параллельных ветвей обмотки якоря; $w_{д,п1}$ — число витков на одном добавочном полюсе; $w_{к1}$ — число витков компенсационной обмотки вокруг одного добавочного полюса; $N_я$ — общее число проводников на якоре; $a_{д,к}$ — число параллельных ветвей обмотки добавочных полюсов и компенсационной обмотки.

3.1.12. Еще один способ объективной оценки правильности настройки электромагнитной системы машины состоит в измерении напряжений на набегающем или сбегающем краях щетки или щеточного перекрытия, если они установлены с раздвижкой. Необходимые

измерения производят с помощью специально изготовленных измерительных щеток по схеме, показанной на рис. 3.10, а толщина измерительных щеток должна несколько превышать ширину межламельного пространства. Щетки изолированы друг от друга и от корпуса машины. Вольтметры подключаются к каждой из измерительных щеток и к бракету, на котором смонтированы рабочие щеткодержатели.

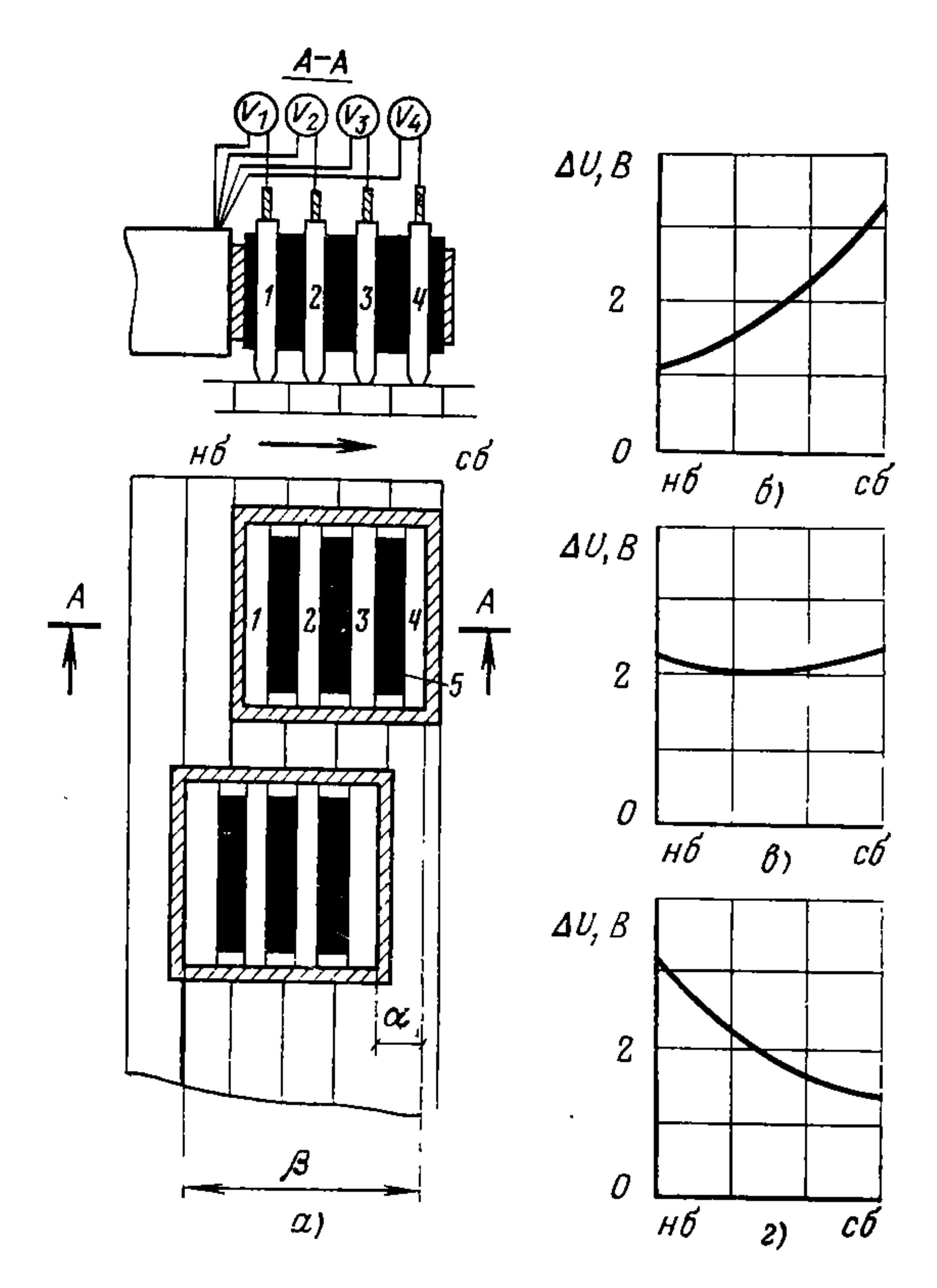


Рис. 3.10. Схемы снятия потенциальных диаграмм (*а*); диаграммы замедленной коммутации (*б*); прямолинейной коммутации (*в*); ускоренной коммутации (*г*):

1—4 — измерительные щетки; *5* — изоляционные прокладки; V_1—V_4 — вольтметры; α — размер раздвижки щеток; β — щеточное перекрытие; *нб* — набегающий край щетки; *сб* — сбегающий край щетки

Сопоставление измеренных значений $\Delta U_{нб}$ и $\Delta U_{сб}$ позволяет судить о характере коммутации испытуемой машины. При $\Delta U_{сб} > \Delta U_{нб}$ — коммутация замедленная; при $\Delta U_{сб} = \Delta U_{нб}$ — прямолинейная; при $\Delta U_{сб} < \Delta U_{нб}$ — коммутация ускоренная (см. рис. 3.10,*б*—*г*). При работе машины в установившемся режиме обычно стремятся получить соотношение

$$\Delta U_{сб}/\Delta U_{нб} \text{ от } 2/3 \text{ до } 1/2.$$

Описанный способ применим при исследовании характера коммутации машин, работающих как в установившихся, так и в неустановившихся режимах. В последнем случае измерение напряжений приходится записывать с помощью осциллографа. Одновременно целесообразно фиксировать ток якоря, напряжение машины, частоту вращения и ток возбуждения.

3.2. Контроль состояния поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец. Устранение дефектов

3.2.1. Нормальная работа скользящего контакта в большой степени зависит от состояния поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец. В идеальном случае эти поверхности должны представлять собою геометрически правильные тела вращении. На практике выполнение указанного условия неосуществимо, и реальные поверхности скольжения всегда в той или иной мере отличаются от идеальных. В наиболее полной мере это проявляется у коллекторов, рабочая поверхность скольжения которых может иметь эксцентриситет относительно оси вращения, волнистость, выступающую группу коллекторных пластин или отдельную пластину, выступающую слюду и те или иные параметры шероховатости. Перечисленные дефекты поверхностей скольжения коллекторов вызывают периодические перемещения щеток относительно их равновесного положения — вибрацию. Последняя в свою очередь изменяет условия прохождения тока через скользящий контакт, и, для того чтобы эти нарушения не приводили к потере работоспособности контакта, состояние поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец должно находиться под контролем.

3.2.2. В случае, если поверхность скольжения коллектора (кольца), вращающегося с угловой скоростью ω, имеет относительно оси вращения эксцентриситет Δ_1, то радиальная составляющая перемещения x щетки, установленной в радиальном щеткодержателе, скорость и ускорение этого перемещения оказываются равными:

$$x = \Delta_1 \sin \omega t; \tag{3.8}$$

$$v = \frac{dx}{dt} = \Delta_1 \omega \cos \omega t; \tag{3.9}$$

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -\Delta_1 \omega^2 \sin \omega t. \tag{3.10}$$

Теория позволяет исследовать динамику перемещения щеток, вызванного наличием эксцентриситета, и определить связи между различными факторами, определяющими их поведение в рассматриваемых условиях. Однако в практике подобных расчетов не производят и принимают, что биение коллекторов (колец), численно равное удвоенному значению вызвавшего их эксцентриситета, не должно превышать определенных значений. В общем электромашиностроении эти значения устанавливаются в соответствии с табл. 3.1. В специализированном электромашиностроении считают, что общее биение должно укладываться в нормы табл. 3.2. Для авиационных электрических машин приняты нормы, указанные в табл. 3.3. Контролируемое биение измеряют индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм. Индикатор укрепляют на штативе, изолированном от корпуса и токоведущих частей машины. Его наконечник упирают в щетку, тщательно

Таблица 3.1. **Предельно допустимое биение коллекторов и контактных колец в электрических машинах общего назначения**

(ОСТ 16.800.605-78)

А. Для коллекторов

<table>
<tr><th rowspan="4">Диаметр коллектора, мм</th><th colspan="12">Рабочая частота вращения, об/мин,</th></tr>
<tr><th colspan="2">до 100</th><th colspan="2">более 100 до 400</th><th colspan="2">более 400 до 600</th><th colspan="2">более 600 до 750</th><th colspan="2">более 750 до 1500</th><th colspan="2">более 1500 до 3600</th></tr>
<tr><th colspan="12">Состояние коллектора</th></tr>
<tr><th>холодное</th><th>горячее</th><th>холодное</th><th>горячее</th><th>холодное</th><th>горячее</th><th>холодное</th><th>горячее</th><th>холодное</th><th>горячее</th><th>холодное</th><th>горячее</th></tr>
<tr><th></th><th colspan="12">Биение, мкм</th></tr>
<tr><td>От 250 до 355</td><td>—</td><td>—</td><td rowspan="5">40</td><td rowspan="2">60</td><td rowspan="4">30</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="4">30</td><td rowspan="2">50</td><td>20</td><td>40</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">30</td></tr>
<tr><td>Более 355 до 630</td><td>—</td><td>—</td><td rowspan="2">30</td><td>50</td></tr>
<tr><td>Более 630 до 900</td><td rowspan="2">50</td><td>80</td><td rowspan="2">70</td><td rowspan="2">60</td><td>60</td><td>60</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>Более 900 до 1500</td><td>90</td><td>50</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>Более 1500</td><td>60</td><td>100</td><td>80</td><td>40</td><td>70</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>

Продолжение табл. 3.1

Б. Для контактных колец

Диаметр контактных колец, мм	Рабочая частота вращения, об/мин,									
	до 250		более 250 до 500		более 500 до 1000		более 1000 до 1500		более 1500 до 3000	
	Состояние контактных колец									
	холодное	горячее	холодное	горячее	холодное	горячее	холодное	горячее	холодное	горячее
	Биение, мкм									
От 250 до 355	—	—	40	70	40	70	30	60	—	—
Более 355 до 630	—	—	50	80	50	80			—	—
Более 630	60	10		90	—	—	—	—	—	—

Примечание. Биение коллекторов и контактных колец в пределах указанных значений допускается только при условии плавного изменения и равномерного его распределения по окружности коллектора или кольца.

Таблица 3.2. **Предельно допустимое биение коллекторов в электрических машинах специализированного назначения**

Частота вращения коллектора, об/мин	Предельно допустимое биение, мкм	Частота вращения коллектора, об/мин	Предельно допустимое биение, мкм
До 3000	80	12 000—15 000	36
3000—5000	70	15 000—18 000	32
5000—7000	60	18 000—21 000	28
7000—9000	50	21 000—25 000	24
9000—12 000	40		

Таблица 3.3. **Предельно допустимое биение коллекторов в авиационном электромашиностроении**

Диаметр коллектора, мм	Предельно допустимое биение коллектора, мкм		Диаметр коллектора, мм	Предельно допустимое биение коллектора, мкм	
	на валу якоря	в собранной машине		на валу якоря	в собранной машине
<30	10	20	60—100	20	25
30—60	15	20	100—125	25	30

пригертую к проверяемой поверхности скольжения. Возможно соприкосновение наконечника индикатора непосредственно с проверяемой поверхностью, но в этом случае его следует снабдить планкой-лыжней, перекрывающей промежутки между коллекторами пластинками. Выбор места приложения наконечника индикатора к контролируемой поверхности не имеет значения, если оси машины покоятся на подшипниках качения. Если машина оборудована подшипниками скольжения, то наконечник индикатора следует прикладывать сверху или снизу, но не сбоку, так как в последнем случае возможно появление погрешностей из-за горизонтального перемещения валов, обусловленного зазорами в подшипниках. Измеряемое значение общего биения (эксцентриситета) определяют по крайним положениям стрелки индикатора за один оборот контролируемой поверхности, которая должна перемещаться с окружной скоростью не более 1 м/с. Пружину индикатора предварительно следует поджать на 2—4 мм.

3.2.3. При наличии на рабочей поверхности коллектора волнистости или группы выступающих пластин, более или менее равномерно расположенных по всей длине его окружности, амплитуда колебаний щетки будет определяться степенью отклонения профиля реальной поверхности скольжения от линии идеальной окружности. Частота колебаний при этом будет зависеть от того, как по длине этой окружности расположатся группы выступающих пластин и фазы изменения волнистости. Если, например, на окружности коллектора синусоида волнистости (или группы выступающих пластин) уложатся K раз, то вызванная ею частота колебаний окажется равной $f=Kn/60$.

где n — частота вращения, об/мин. Соответственно множитель K появится и в других формулах, определяющих динамику перемещения щеток, работающих на коллекторах с рассматриваемыми дефектами поверхностей скольжения.

3.2.4. Помимо общего биения, у коллекторов электрических машин может иметь место еще один вид неисправности, называемый местным биением. Этим термином обозначают провалы и подъемы отдельных коллекторных пластин. Простейший способ выявления подобных пластин, нарушающих общий рельеф поверхности скольжения, состоит в том, что поверхность каждой из них в отдельности прощупывается наконечником индикатора. Выступившие и провалившиеся пластины вызывают скачкообразное перемещение его стрелки.

Наличие выступающей пластины вызывает перемещение щетки с ускорением, максимальное значение которого определяется выражением

$$a_{э\,max} = 6\Delta_2/T_\Delta^2, \tag{3.11}$$

в котором Δ_2 — превышение уровня выступающей пластины над уровнем предшествующих пластин коллектора; T_Δ — промежуток времени, в течение которого щетка поднимается на высоту Δ_2.

Поскольку величина Δ_2 является крайне неопределенной и воздействовать на нее затруднительно, для снижения значений $a_{э\,max}$, т. е. для уменьшения динамических усилий, действующих на щетку, следует увеличивать T_Δ. Достигается это путем снятия фасок на гранях коллекторных пластин. Поскольку в выражении (3.11) член T_Δ находится во второй степени, возможности снижения дополнительных динамических нагрузок на щетки за счет снятия фасок на коллекторных пластинах оказываются весьма значительными. Теория рассматриваемого вопроса предлагает формулы для расчета действующих на щетки динамических нагрузок в зависимости от значений Δ_2 и многих других физических, механических и конструктивных факторов. Однако на практике, подобно тому как это делалось при рассмотрении величины Δ_1, таких расчетов не проводят, а стремятся к тому, чтобы значение Δ_2 не превышало некоторых норм, установленных опытным путем. В качестве таковых для машин общего назначения в литературе приводятся следующие:

Частота вращения коллектора, об/мин, до	3000	5000	8000	12 000	16 000	20 000
Допустимое выступание пластин, мкм	6	5	4	3	2	1

3.2.5. Проверка состояния поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец методами, описанными в п. 3.2.2. и 3.2.4, не гарантирует сохранения этого состояния при работе электрической машины. Недостаточно хорошо произведенная формовка и иные технологические погрешности, допущенные при изготовлении коллекторов, приводят к тому, что в процессе эксплуатации их профиль изменяется. Подобное обстоятельство сделало необходимой разработку приборов, позволяющих контролировать состояние поверхностей скольжения в динамике, т. е. непосредственно на работающих машинах. Ряд подобных приборов разработан, но, так как ни один из них не освоен в промышленном производстве, для оценки состояния поверхности вращающихся коллекторов рекомендуется пользоваться методом, заключающимся в следующем: на любом из бракетов машины изолируют пару щеткодержателей и создают вспомогательную электрическую цепь, по которой ток проходит от щеток, помещенных в изолирован-

ных держателях, через пластины коллектора в другие щетки этого же бракета. Питание цепи осуществляется от низковольтного генератора постоянного тока. Если после приработки изолированных щеток к профилю коллектора и нагружения их от вспомогательного генератора током $I=(1{,}2\div1{,}3)I_{\text{ном}}$ под ними при вращении нагретого коллектора искрения не возникнет, то рельеф поверхности скольжения следует считать удовлетворительным. В противном случае состояние этой поверхности следует улучшить.

3.2.6. Радикальным способом улучшения состояния поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец является проточка. Эту операцию принято производить в случае, когда биение и неровности превышают 0,3—0,4 мм. Если же эти значения лежат в пределах 0,2—0,3 мм, устранение дефектов поверхностей скольжения можно осуществить шлифовкой и полировкой. При меньших значениях биения и неровностей оказывается достаточной одна полировка.

Описания технологических процессов по устранению дефектов поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец, равно как и сопутствующих им операций продораживания коллекторов и снятия фасок на ребрах коллекторных пластин, содержатся в литературе по технологии электромашиностроения и ремонту электрических машин [3.4—3.7, 3.10—3.12].

3.3. Вибрации электрических машин

3.3.1. Рассмотренные в § 3.2. случаи нарушения нормальной работы скользящего контакта имели своей непосредственной причиной явления, происходящие в контактной зоне. Аналогичные нарушения могут возникать из-за явлений, происходящих и вне зоны контакта. Подобные ситуации возникают в результате действия центробежных сил, обусловленных неудовлетворительной балансировкой вращающихся частей, и в случае, когда возмущающие воздействие поступают от посторонних источников.

Центробежные силы проявляют себя двояким образом. При удовлетворительной балансировке вращающейся части электрической машины под их воздействием происходят упругие деформации вала и деталей коллектора и выбираются зазоры в подшипниках. В результате первоначально правильная форма поверхности скольжения коллектора с относительно небольшими неровностями при возрастании частоты вращения может приобрести вид синусоиды, амплитуда которой изменяется пропорционально числу оборотов. Экспериментальное изучение процесса возникновения вибраций под действием центробежных сил показывает, что процесс развивается так, будто система приобретает эксцентриситет и для каждой электрической машины существует своя частота вращения, при превышении которой за счет действия центробежных сил полностью выбирается радиальный зазор в подшипниках. Только за счет указанных причин эксцентриситет работающего коллектора может удвоиться по сравнению со значением, измеряемым в статическом состоянии.

3.3.2. При неудовлетворительной балансировке вращающейся части машины в системе развивается возмущающее усилие, которое определяется формулой

$$G_{\text{в}} = q_{\text{д}}\omega^2 r_{\text{д}}, \qquad (3.12)$$

где $q_{\text{д}}$ — неуравновешенная часть массы якоря, кг; ω — угловая скорость, равная $\pi n_0/30$; $r_{\text{д}}$ — радиус, на который отклонена сила $q_{\text{д}}$ от оси вращения, м; n_0 — частота вращения якоря (ротора), об/мин.

С целью снижения вибраций, вызываемых этим усилием, в отечественной промышленности действует ГОСТ 12327-79, нормирующий

допустимую остаточную неуравновешенность роторов электрических машин. Названный ГОСТ распространяется на машины общего и специального назначения[1], роторы которых имеют массу 0,01—1000 кг при рабочей частоте вращения до 30 000 об/мин. Он устанав-

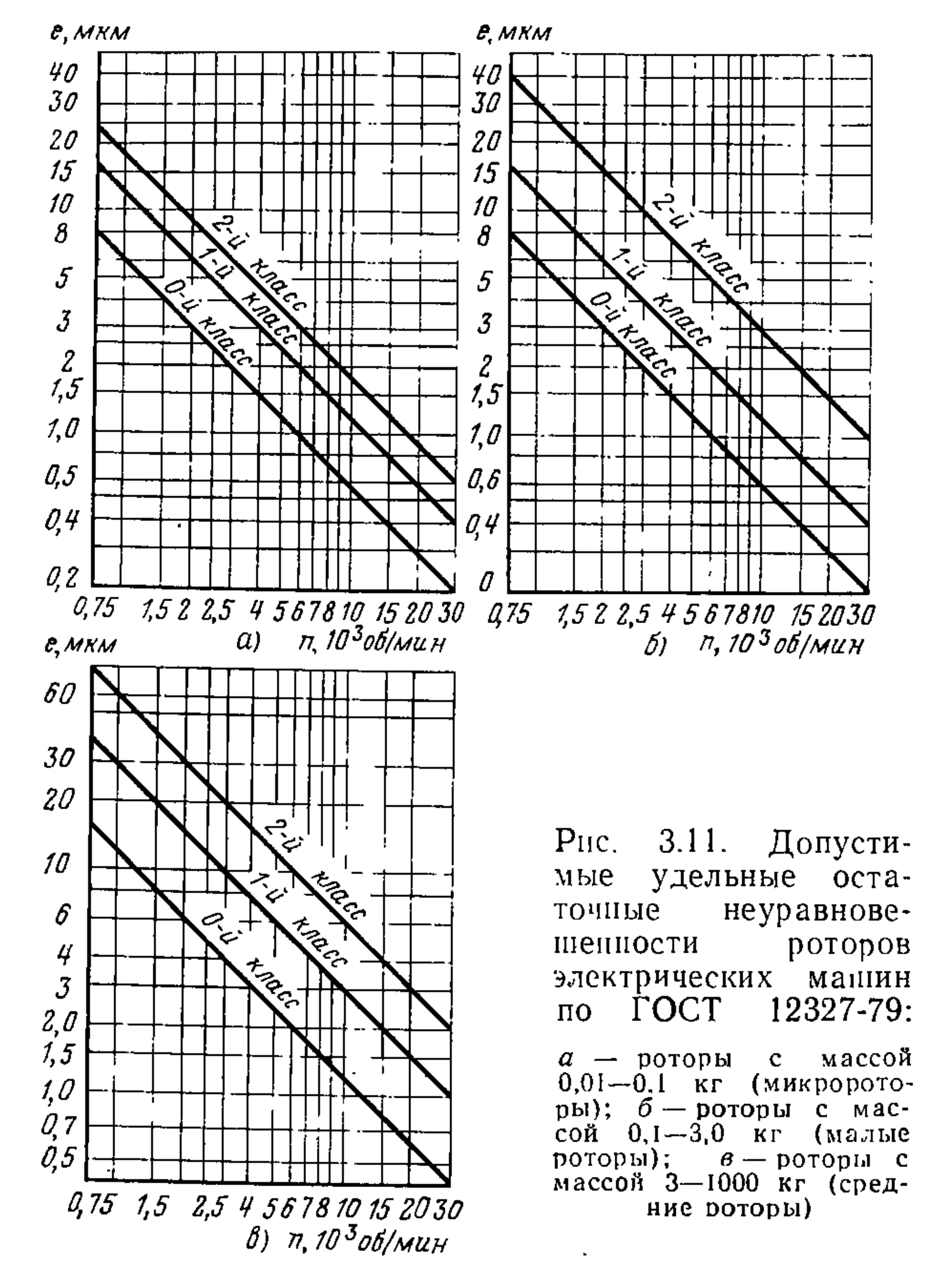


Рис. 3.11. Допустимые удельные остаточные неуравновешенности роторов электрических машин по ГОСТ 12327-79:

а — роторы с массой 0,01—0,1 кг (микророторы); *б* — роторы с массой 0,1—3,0 кг (малые роторы); *в* — роторы с массой 3—1000 кг (средние роторы)

ливает три класса точности уравновешивания: нулевой, первый и второй. Удельная остаточная неуравновешенность роторов электрических машин, условно отнесенная к их центру тяжести, не должна превышать предельных значений, указанных на рис. 3.11. Для роторов с рабочей частотой вращения менее 750 об/мин допустимые удельные остаточные неуравновешенности определяют по формуле

$$e_{\text{п}} = e\,750/n, \qquad (3.13)$$

где e — допустимая удельная остаточная неуравновешенность, определяемая по графикам рис. 3.11 для соответствующих роторов при $n = 750$ об/мин; n — рабочая частота вращения, об/мин.

[1] ГОСТ 12327-79 не распространяется на автотракторные электрические машины по ГОСТ 3940-71 и на крановые и металлургические электродвигатели по ГОСТ 184-71 и 185-70 и их модификации.

3.3.3. Общим критерием оценки состояния поверхностей скольжения коллекторов и контактных колец и качества балансировки машины в целом является ее вибрационная характеристика. В качестве таковой принимается наибольшее из эффективных значений вибрационной скорости $v_{эф}$, измеренной в диапазоне от частоты вибрации, соответствующей рабочей частоте вращения, до:

частоты 10 000 Гц для машин массой от 0,02 до 0,5 кг и рабочей частотой вращения до 60 000 об/мин включительно (ГОСТ 20832-75);

частоты 2000 Гц для машин общего и специального применения с массой от 0,25 до 2000 кг и рабочей частотой вращения от 600 до 12 000 об/мин включительно.

В зависимости от нормированного значения $v_{эф}$ все вращающиеся электрические машины постоянного тока делятся на следующие классы:

Классы		Максимально допустимые эффективные значения вибрационной скорости, мм/с	
ГОСТ 20832-75	0,11	0,11	
	0,18	0,18	
	0,28	0,28	ГОСТ 16921-71
	0,45	0,45	
	0,7	0,70	
	1,1	1,10	
	1,8	1,80	
	2,8	2,80	
	4,5	4,50	
	7,0	7,00	

Вибрации машин переменного тока нормированы ГОСТ 20815-75. В соответствии с ним эффективные значения вибрационной скорости для машин с частотой вращения от 600 до 3000 об/мин не должны превышать:

n, об/мин	600	750	1000	1500	3000
$v_{эф}$, мм/с	1,8	2,1	2,4	2,8	3,3

Класс вибрации для машин отдельных типов выбирается конструктором в зависимости от ее конкретных данных, назначения, эксплуатационных требований, конструктивных особенностей, и для данного вида машин он зависит от высоты оси их вращения. Таким образом, указанная в технической документации принадлежность машины к тому или иному классу по вибрации одновременно является указанием на максимально допустимое для нее эффективное значение вибрационной скорости $v_{эф}$.

3.3.4. Параметры вибрации электрических машин измеряются по методу, нормированному ГОСТ 12379-75, распространяющемуся на вращающиеся электрические машины общего назначения и специализированные электрические машины с массой от 0,5 до 2000 кг и рабочей частотой вращения от 600 до 30 000 об/мин. В качестве измерительной аппаратуры следует применять виброизмерительные приборы с виброизмерительными преобразователями, а также октавные и третьеок-

тавные фильтры по ГОСТ 16826-71 и ГОСТ 17168-71. Вибрацию следует измерять по трем направлениям: вдоль оси вращения машины и вдоль двух других ей взаимно перпендикулярных направлений. Выбор мест измерения вибраций определяется характером испытаний, размерами, формой исполнения, степенью защиты машин и детально освещен в ГОСТ 12379-75. В этом же документе содержатся указания об условиях работы машин во время испытаний и порядок оформления результатов. Как отмечалось в п. 3.3.3, вибрационной характеристикой машины является наибольшее из эффективных значений ее вибрационной скорости $v_{эф}$. Последнее представляет собою среднее квадратическое отдельных значений исследуемой величины за время одного периода T. В общем случае

$$v_{эф} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} v_{в}^{2}(t)\,dt}\,, \qquad (3.14)$$

для гармонических колебаний

$$v_{эф} = \frac{1}{\sqrt{2}}\, v_{вm}, \qquad (3.15)$$

где $v_{в}$ — текущее значение вибрационной скорости, мм/с; $v_{вm}$ — амплитудное (максимальное) значение вибрационной скорости, мм/с.

Вибрационную скорость рекомендуется выражать в абсолютных единицах, имеющих размерность мм/с. По ГОСТ 12379-75 разрешается выражать ее и в децибелах относительно условного нулевого значения $v_{в0}=5\cdot10^{-5}$ мм/с. Переход от значений вибрационной скорости, выраженных в абсолютных единицах $v_{в}$, к значениям, выраженным в децибелах $v_{дб}$, может быть произведен с помощью формулы

$$v_{дб} = 20\lg v_{в}/v_{в0}. \qquad (3.16)$$

Результаты расчетов по последней формуле для значений $v_{дб}$ от 0 до 150 содержатся в приложении 2 к ГОСТ 12379-75.

3.3.5. Государственные стандарты 20832-75, 16921-73 и 12379-75 используются при оценке вибраций электрических машин, проводимой в процессе проведения их приемо-сдаточных, контрольных и типовых испытаний на электромашиностроительных предприятиях. При проведении пусконаладочных и ремонтных работ вибрации оценивают по значению двойной амплитуды так, как это предусмотрено Правилами устройства электроустановок, изданными в 1976 г. Техника проведения соответствующих измерений и места размещения датчиков аналогичны указанным в предыдущем пункте. В качестве датчиков здесь применяются вибрографы и виброметры, и определяемая с их помощью удвоенная амплитуда колебаний машины (вибрации) не должна превышать значений, приведенных в табл. 3.4.

Если при проведении испытаний будет установлено, что значение вибрационной характеристики проверяемой машины превышает установленные нормы, необходимо позаботиться о снижении этих значений. Делается это путем устранения дебаланса ее вращающейся части, который может быть статическим, динамическим и смешанным.

3.3.6. Статический дебаланс вращающейся части электрической машины устраняется ее статической балансировкой. Значительно более эффективной является динамическая балансировка, в процессе проведения которой устраняются любые виды дебаланса, и делается это с гораздо большей точностью. Для динамической балансировки

Таблица 3.4. **Допустимые значения вибрации электрических машин**

Частота вращения, об/мин	Наибольшая допустимая вибрация, мкм, по данным		
	ПУЭ-76	ЛЭО „Электросила"	ХЭМЗ
500	—	160	85
600	—	140	80
750	160	120	75
1000	130	100	70
1500	100	85	60
3000	50	50	30
4000	—	40	10
5000	—	30	10

используются специальные балансировочные станки, принцип действия и устройство которых описаны в специальной литературе и инструкциях к этим станкам. Однако в практике возникают ситуации, когда динамическую балансировку вращающейся части электрической машины приходится производить в ее собственных подшипниках. В последнем случае можно применить несколько методов балансировки, описание которых можно найти в работах [3.1, 3.7, 3.9 и 3.11]. Конструкции грузов, с помощью которых осуществляется уравновешивание, и способы их закрепления разрабатывают предприятия, выпускающие электрические машины. На оборудовании, балансировка которых проводится в ремонтных цехах и на производственных предприятиях, используют те средства уравновешивания, которые предусмотрены в конструкции балансируемых машин.

3.4. Установка щеток. Регулировка щеткодержателей

3.4.1. Установка щеток предусматривает размещение их в гнездах обойм щеткодержателей, расстановку держателей на бракетах и размещение бракетов по окружности коллекторов и контактных колец. Перечисленные операции выполняются с соблюдением определенных правил, одно из которых состоит в том, что, помещая щетки в гнезда обойм щеткодержателей, необходимо обеспечить для них определенную посадку. Последняя создается за счет зазоров, размеры которых указаны в ранее приведенной табл. 2.3. Содержащиеся там числа относятся к радиальным щеткодержателям машин общепромышленного назначения. Для аналогичных держателей автотракторного электрооборудования эти числа являются рекомендуемыми и их нельзя превышать более чем в 2,5 раза. Зазоры между щетками и стенками гнезд реактивных щеткодержателей не нормируются.

3.4.2. После размещения щеток в гнездах обойм щеткодержателей их контактным поверхностям необходимо придать профиль коллекторов и контактных колец, с которыми им предстоит работать. Поскольку контактные поверхности выпускаемых щеток в подавляющем большинстве случаев не профилируются, эта операция производится при установке щеток на машины. Весьма распространенный способ ее проведения состоит в том, что между поверхностью скольжения вращающейся части машины и щеткой протягивают электрокорундовую шлифовальную шкуру с зернистостью № 150 или

180. Направление движения шкурки должно быть согласовано с фасоном щетки и направлением вращения машины, как это показано на рис. 3.12. Эту операцию можно производить и с помощью различных приспособлений. Простейшее из них представляет собою деревянный барабан, диаметр которого соответствует диаметру коллектора или кольца. Поверхность барабана оклеивается электрокорундовой шкуркой, к которой и прижимаются профилируемые щетки. При этом они должны помещаться в щеткодержателях, ориентировка которых по отношению к барабанам должна быть точно такой же,

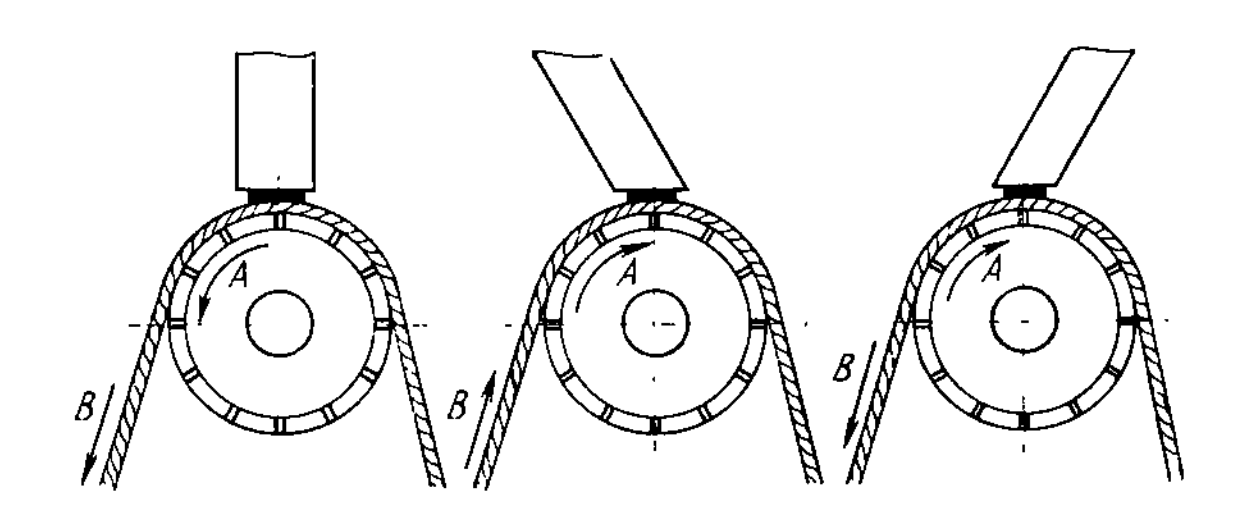


Рис. 3.12. Схема взаимной ориентировки щеткодержателей, направления вращения коллекторов и направления перемещения шлифовальной шкурки при профилировке щеток:

А — направление вращения якоря; *В* — направление движения шлифовальной шкурки

как и у держателей машины по отношению к поверхности скольжения. Шесть-семь оборотов барабана достаточно для того, чтобы контактная поверхность щеток приобрела необходимый профиль.

При подгонке профиля металлографитовых щеток, содержащих значительное количество металла, описанный способ профилировки целесообразно заменить фрезерованием на горизонтально-фрезерном станке.

3.4.3. При размещении щеток в щеткодержателях необходимо обратить внимание на нажатие на щетки и его равномерность. Нормируемое нажатие определяется как произведение площади поперечного сечения щетки на выбранное для нее удельное давление. Ввиду того, что подавляющее большинство изготавливаемых типов щеткодержателей не имеет устройств для регулирования давления или допускает только его ступенчатую регулировку, а также и потому, что это давление изменяется с изменением радиальных размеров щеток, во всех случаях эксплуатации приходится сталкиваться со значительным разбросом нажатий на щетки. Подобное обстоятельство приводит к неравномерному распределению токов между параллельно включенными щетками, неравномерному их износу и другим нежелательным явлениям. Для того чтобы затормозить развитие этих явлений, необходимо принять меры к тому, чтобы разброс давления на щетки установленного на машине комплекта не превышал ±10% от среднего значения.

3.4.4. Контролируемое давление на щетки измеряют пружинными динамометрами. Их применение требует некоторого навыка: прежде всего, следует позаботиться о том, чтобы направление приложения нажимного усилия со стороны пальца щеткодержателя и ось дина-

мометра располагались на одной линии. Уравновешивание сил динамометра и нажимного пальца держателя происходит в момент, когда последний теряет контакт со щеткой. Этот момент можно уловить по выпавшему листку бумаги, предварительно помещенному между контактной поверхностью щетки и поверхностью скольжения коллектора.

3.4.5. Установке щеток в гнезда обойм щеткодержателей должна предшествовать расстановка щеткодержателей на бракетах машины. Для того чтобы изнашивание коллекторов и контактных колец происходило более равномерно по всей их рабочей поверхности, щеткодержатели рекомендуется расставлять так, как это показано на рис. 3.13, т. е. каждую пару рядом расположенных держателей смещать относительно друг друга на размер C_1. При этом крайние ряды щеток не должны свешиваться над краями поверхностей скольжения. Для выполнения указанного условия необходимо знать возможные осевые перемещения валов электрических машин. При использовании подшипников скольжения допустимые значения перемещений таковы:

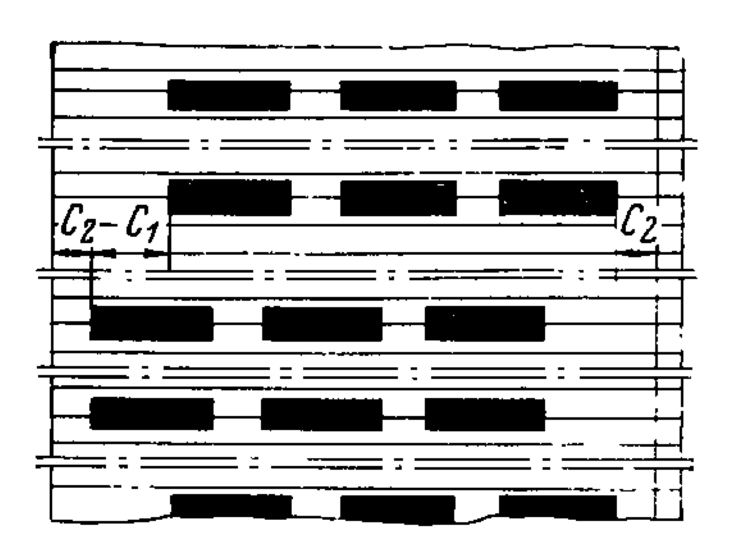


Рис. 3.13. Расстановка щеток на коллекторе по схеме «сдвинутых дорожек» (сдвига)

C_1 — размер осевого сдвига; C_2 — расстояние между крайними щетками и краем коллектора

Мощность машины, кВт	В одну сторону, мм	В две стороны, мм
до 10	0,50	1,0
10—20	0,75	1,5
20—70	1,00	2,0
70—125	1,50	3,0
Свыше 125	2,00	4,0

В машинах с диаметром шейки вала свыше 200 мм допустимое значение перемещения может достигать 2% от диаметра этой шейки. Рассматриваемые перемещения происходят относительно того положения якоря или ротора, которое определяется действием магнитного поля машины. Расстояния между крайними щетками и краями поверхностей скольжения C_2 должны быть не менее приведенных в последнем столбце вывода чисел. В противном случае возможно разрушение крайних щеток.

3.4.6. При закреплении щеткодержателей на бракетах следует установить определенное расстояние между нижней гранью их обойм и поверхностью скольжения коллектора или кольца. Для коллекторных машин мощностью до 3—5 кВт это расстояние должно составлять 1,0—1,5 мм, у более мощных машин его можно повысить до 2—3 мм. На крупных высоковольтных электродвигателях рассматриваемое расстояние следует увеличить до 3—5 мм.

3.4.7. Наряду с расстановкой щеткодержателей на бракетах машины необходимо обеспечить правильное размещение самих бракетов на траверсе, с тем чтобы они были равномерно распределены вдоль окружности коллектора или кольца. Для проверки правильности такого размещения по всей окружности под щеткодержателями одного

следа прокладывают бумажную ленту шириной 20—25 мм, на ленте карандашом отмечают положение сбегающих граней щеток, после чего ленту снимают и масштабной линейкой измеряют расстояние между соседними метками. Размещение бракетов и щеткодержателей признается удовлетворительным, если разность между наибольшим и наименьшим из измеренных расстояний оказывается для крупных машин не более 0,5%, а для машин мощностью менее 200 кВт — 1,5—2,0%. При несоблюдении указанных норм размещение бракетов следует отрегулировать дополнительно.

3.4.8. Еще одним существенным требованием при установке щеток на машине является их правильная ориентация по отношению к электрической нейтрали. В современных правильно построенных и хорошо отрегулированных машинах с добавочными полюсами щетки должны занимать на коллекторе такое положение, при котором ЭДС ненагруженного якоря достигает максимального значения. Выполнение указанного условия проверяется несколькими способами. В случае, если машина работает в генераторном режиме, с нее снимают нагрузку, фиксируют в цепи возбуждения постоянное сопротивление и, перемещая траверсу, подбирают для нее и щеток такое положение, при котором напряжение генератора будет максимальным. Для машин, работающих в двигательном режиме, искомое положение находят по частоте вращения, которую они развивают при вращении в двух направлениях. Если щетки расположены на нейтрали, в обоих случаях число оборотов окажется одинаковым. Нагрузку при проведении этого опыта с машин снимают.

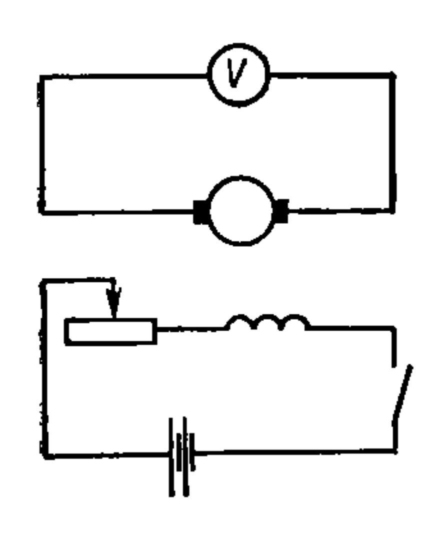


Рис. 3.14. Схема для установки щеток в нейтральное положение

Для неподвижных машин возможно осуществление опыта по схеме, показанной на рис. 3.14. К зажимам якоря машины подключают магнитоэлектрический двусторонний вольтметр 1,5—3,0 В, а в обмотку возбуждения включают и выключают ток, составляющий 5—10% от номинального. При положении щеток на нейтрали стрелка вольтметра будет оставаться неподвижной.

Последний способ определения нейтрали наиболее надежен и ему следует отдавать предпочтение перед другими описанными способами. Опыт по определению положения нейтрали следует производить при полностью притертых к профилю коллектора щетках. В противном случае после приработки потребуется дополнительная регулировка положения траверсы.

3.5. Замена щеток зарубежного производства отечественными щетками

3.5.1. Приступая к замене износившихся щеток на электрических машинах зарубежного производства, необходимо составить себе представление о параметрах и свойствах изделий заменяемого комплекта. Эти сведения можно получить, осмотрев подлежащие замене щетки и сопоставив нанесенное на них изображение фирменного знака и обозначение марки материала с изображениями рис. 2.11 и информацией, содержащейся в табл. 1.5—1.15, 2.5 и 2.6. В результате подобного сопоставления будут определены изготовитель заменяе-

мых щеток, параметры материала, из которого они изготовлены, и основные области их применения.

3.5.2. Определив изготовителя подлежащих замене щеток, следует обратиться к соответствующей графе табл. 1.16 и, найдя в ней обозначение марки этих щеток, установить классификационный индекс, к которому она относится. Марки щеток других изготовителей, расположенные в горизонтальных строках, относящихся к установленному классификационному индексу, в первом приближении могут рассматриваться в качестве аналогов. Некоторые дополнительные рекомендации по использованию сведений табл. 1.16 изложены ранее в п. 1.9.3.

В случае, если замене подлежат щетки, работавшие на электрической машине специализированного назначения, т. е. на машине, выполненной с учетом каких-либо специфических требований, то, подбирая для ее щеток аналог, его следует искать среди щеток, изготовленных из материалов того же класса, обладающих аналогичными или близкими значениями технических параметров и предназначенных для эксплуатации в аналогичных условиях. Пример такого способа подбора марок-аналогов щеток для нескольких машин специализированного назначения приведен в табл. 3.5.

Таблица 3.5. **Марки-аналоги щеток, изготавливаемых предприятиями различных стран для некоторых специализированных областей их использования**

Марка материала	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное электросопротивление, мкОм·м	Удельное нажатие, кПа	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения не более
Щетки автомобильных стартеров						
СССР						
МГС20	20	15	0,1—0,4	—	0,3—1,0	0,25
МГСО	20	20	<0,3	18—23	0,08—0,35	0,25
МГСОА	20	15	0,1—0,3	—	0,1—0,5	0,25
МГ4С	—	—	0,4—3,0	—	0,6—1,6	0,20
ГДР						
М15	—	15	0,1*	40—70	<0,1	0,1—0,2
ПНР						
М78	20	20	0,04—0,09	20	0,20—0,28	0,20
М83	20	20	0,06—0,18	18	0,25—0,40	0,23

Марка материала	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное электросопротивление, мкОм·м	Удельное нажатие, кПа	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения не более
			ЧССР			
К11	18	20	0,07—0,17	20—25	0,5*	0,20
К31	15	25	0,12—0,20	20—25	1,1*	0,22
М8	20	15	0,05—0,16	20—25	0,5*	0,25
М15	20	20	0,40—0,70	20—25	1,2*	0,25
			Великобритания[1]			
СМО	17	20	0,13*	14	< 0,40	0,15—0,20
			Франция[2]			
ОМС	30	20	0,08*	—	< 1,4	< 0,12
			США[3]			
543	23	20	0,08*	17—24	< 0,2	0,22—0,30
			Щетки универсальных коллекторных двигателей электробытовых приборов, электроинструмента и др.			
			Высокоомные			
			СССР			
Г21	5	30	150—420	15—100	4,3*	0,22
Г33	5,5	36	150—420	29—54	3,5—6,0	0,25
			ПНР			
G200	5	30	150—250	22	4,1—5,5	0,20
			Великобритания[1]			
IM6	2,5	30	760*	21	> 3,6	< 0,16

Продолжение табл. 3.5

Марка материала	Номинальная плотность тока, А/см²	Допустимая окружная скорость, м/с	Удельное электросопротивление, мкОм·м	Удельное нажатие, кПа	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Коэффициент трения не более
			ФРГ[4]			
RH94	5	20	500*	—	2,2	0,38
RK43	8	30	500*	—	5,1*	0,13
RK86	8	30	200*	—	4,4*	0,08
			Низкоомные			
			СССР			
Г4	5	30	10—25	20—25	До 2	0,30
			ПНР			
W25	8	25	25—40	22	1,4—2,2	0,25
W50	7	25	50—70	22	1,8—2,3	0,25
E53	10	50	45—60	22	2,5—3,5	0,25
			ЧССР			
T3	6	15	40—70	17—20	3,6*	0,30
TA45	8	15	35—55	35	—	—
EK63	10	40	40—60	18	3,6*	0,20
			ВНР			
K	7	15	44*	—	2,8*	0,15
SZK	8	40	55*	—	3,2*	0,10
			США[3]			
306	5	16	38*	12—17	0,8—1,3	0,22—0,30
405	5	20	66*	12—17	1,3—1,9	>0,30
442	6	18	36*	28—40	1,3—1,9	0,22—0,30
808	5	18	40*	12—17	0,8—1,3	>0,30

[1] Предприятия фирмы „Морганайт"
[2] Предприятия фирмы „Ле Карбон Лоррен"
[3] Предприятия фирмы „Юнион Карбайд"
[4] Предприятия фирмы „Рингсдорф"
* Приведены средние значения. Подробнее см. в п. 1.8.5.

Информация, содержащаяся в § 2.5 и 2.6 и в табл. 1.5—1.15, позволяет построить аналогичные таблицы для щеток машин других назначений.

5.5.3. Каким бы из двух рассмотренных способов определения марок аналогов ни пользовались, всегда нужно иметь в виду, что они дают ответ только в первом приближении. По указанной причине, оборудовав электрическую машину комплектом щеток новой марки, после ввода машины в эксплуатацию необходимо тщательно наблюдать за всеми особенностями работы деталей ее узла токосъема. Если эта работа будет протекать удовлетворительно, при всех требуемых режимах эксплуатации оборудования, то выбор заменяющего аналога может быть признан удачным. В противном случае возникает необходимость в подборе нового аналога. Выбирая новый аналог, следует учитывать недостатки, обнаружившиеся при применении щеток первоначально выбранной марки. Так, если при первом выборе аналога была обнаружена неудовлетворительная коммутация, то повторный выбор должен пасть на марку, обладающую более высокими коммутирующими свойствами. Общие закономерности изменения различных свойств щеточных материалов рассмотрены в § 1.6. Многочисленные примеры удачно произведенных замен на импортных электрических машинах щеток зарубежного производства отечественными щетками можно найти в гл. 4 и в публикациях [2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 3.3].

3.6. Улучшение эксплуатационных свойств щеток

3.6.1. В процессе эксплуатации электрических машин очень часто возникает необходимость в форсировании режимов их работы. При этом бывшее ранее удовлетворительным взаимодействие элементов скользящего контакта может нарушиться. Для устранения возникших нарушений можно использовать несколько способов, одна часть которых связана с изменением электромагнитного состояния эксплуатируемых машин, а другая — с воздействием на детали скользящего контакта. Сведения о способах настройки процесса коммутации изложены в п. 3.1.11 и 3.1.12. В последующем речь пойдет о способах улучшения эксплуатационных свойств деталей узла токосъема за счет щеток.

3.6.2. Характерными признаками искрения, которое может быть устранено применением щеток с более высокими коммутирующими свойствами, являются бело-голубой или желтый цвет искр, имеющих шаровидную или каплеобразную форму, изменение интенсивности искрения, пропорциональное изменению нагрузки, его малая зависимость от частоты вращения и особенность расположения подгара, образующегося на поверхности коллектора. Подгар в рассматриваемом случае образуется либо по всей его поверхности, либо на отдельных пластинах, в расположении которых наблюдается определенная закономерность. Одним из наиболее надежных способов устранения возникшего искрения и нормализации процесса коммутации при форсировании режима работы коллекторной машины является переход к использованию щеток новой марки с более высокими коммутирующими свойствами. Общий характер изменения этих свойств был показан на рис. 1.14, линия N которого свидетельствует о последовательном возрастании этих свойств по мере увеличения количества вводимой в состав щеточного материала сажи. Для того чтобы изображенную на рис. 1.14 качественную оценку закономерности изменения N в зависимости от состава щеточных материалов

можно было заменить количественной, необходимо располагать обширными экспериментальными данными, характеризующими поведение щеток различных марок на различных электрических машинах. Статистическая обработка собранных к настоящему времени подобных данных, относящихся к крупным электрическим машинам народнохозяйственного назначения, показывает, что для щеток ряда марок N имеет следующие средние значения:

Марка щеток . . .	611М	ЭГ4	ЭГ71	ЭГ2А	ЭГ14	ЭГ8	ЭГ51	ЭГ74	ЭГ85
N	0,9	1,0	1,2	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,1

Применяя щетки в указанной здесь последовательности возрастания значений N, удается повысить коммутационную надежность работы элементов скользящего контакта электрических машин постоянного тока. Пользуясь сформулированным правилом, не следует стремиться к использованию щеток, обладающих наибольшими значениями N, ибо при этом снижаются их износоустойчивость и вибростойкость.

Задачу повышения коммутирующей способности щеток можно решить еще одним путем, не требующим изменения марки материала, из которого они изготовлены. Здесь имеется в виду замена щеток обычной конструкции разрезными, что в большом количестве случаев улучшает коммутацию машин на одну степень, оцениваемую по СТ СЭВ 1346-78.

3.6.3. Описанные способы улучшения коммутации требуют для своего осуществления нового комплекта щеток. При отсутствии такового поставленная задача может быть решена еще двумя приемами: путем образования на щетках имеющегося комплекта 2—3 прорезей или установления щеток ступенчато (с раздвижкой). Прорези делаются на контактной поверхности щетки. Они располагаются параллельно ее аксиальному размеру или под углом 15—20° к нему. Ширина прорези 1—2 мм, а глубина не более 10—15 мм. Недостаток этого приема состоит в том, что его эффект проявляет себя относительно непродолжительное время. По мере изнашивания части щетки с прорезями он исчезает.

Установка щеток ступенчато производится путем применения прокладок, помещаемых между щеткодержателями и бракетами, к которым они прикрепляются. В результате щетки держателей данного бракета располагаются так, как это показано на рис. 3.15. Применение описываемого приема позволяет использовать имеющийся комплект щеток, но при этом увеличиваются трудозатраты на подбор толщины прокладок. Эту толщину приходится подбирать опытным путем, и возможны случаи, когда при превышении ее оптимального значения коммутация ухудшается.

3.6.4. В практике эксплуатации электрических машин известны случаи, когда причиной искрения в скользящем контакте являются вибрации щеток. Отличительная особенность искрения, вызванного вибрациями, состоит в том, что оно не зависит от нагрузки машины, его можно уменьшить, повышая нажатие на щетки и снижая частоту вращения. Для такого искрения характерна зеленоватая окраска искр, возникающих не только под сбегающим краем щетки, а под всей ее контактной поверхностью. Подгар при этом поражает различные участки поверхности коллектора, в расположении которых никакой закономерности не наблюдается. Для ликвидации искрения щеток в этом случае необходимо устранить их вибрации (см. § 3.2 и 3.3). Если же вибрации возникли из-за появления в атмосфере,

окружающей машину, химически активных веществ, воздействовавших на состояние коллекторной пленки, то последнюю необходимо смазать. Названная операция производится с помощью парафина или специальных смазывающих щеток. В качестве таковых рекомендуется применять щетки марки ЭГ4, количество которых подбирается опытным путем. Иногда оказывается достаточным размещение одной-двух щеток по каждому следу, причем их ставят на бракеты, обходя коллектор по винтовой линии.

3.6.5. Если нормирование показателей степени искрения и вибрации электрических машин имеет многолетнюю практику, то нормирование показателей скорости изнашивания элементов скользящего контакта находится в начальной стадии своего развития. В настоящее время подобным нормированием охвачены щетки отдельных марок, предназначенные для машин специализированного назначения,

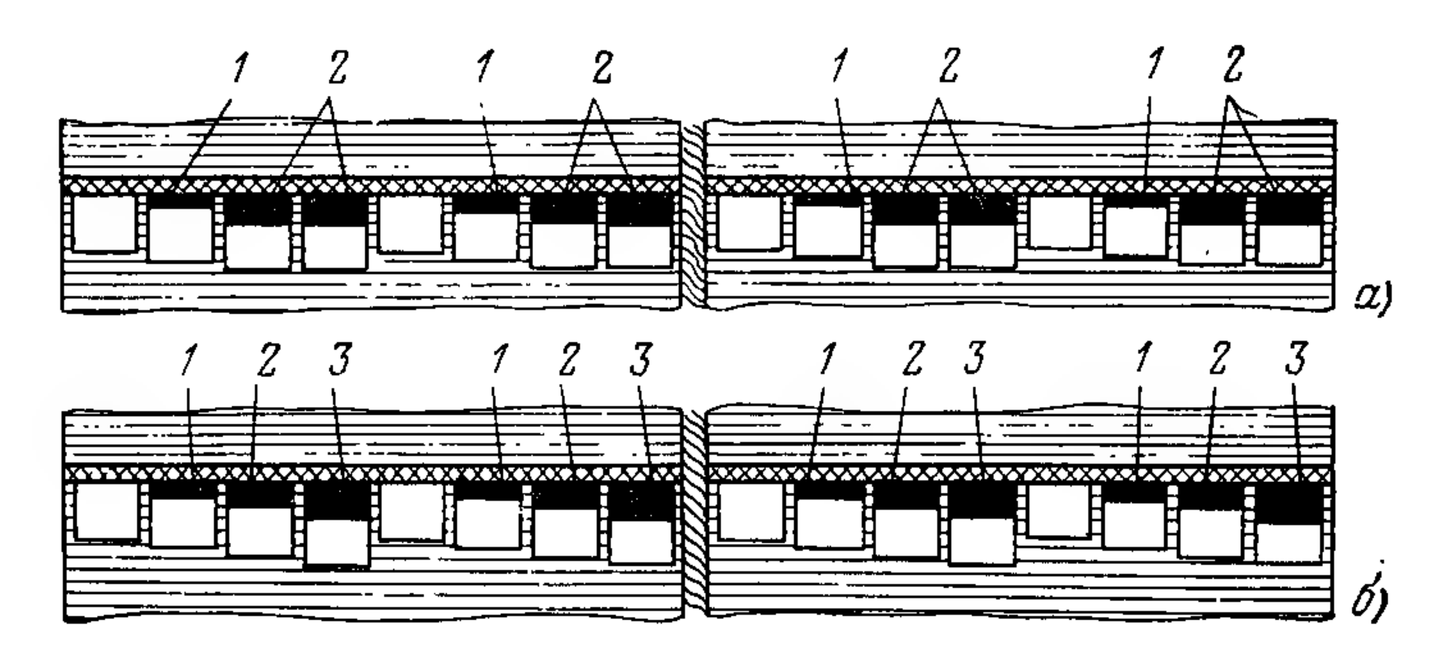


Рис. 3.15. Схема ступенчатой расстановки щеток:
1—3 — прокладки разной толщины

эксплуатируемых в фиксированных режимах, например автотракторные. В новейших предложениях по проектированию серий электрических машин указано, что средний ресурс работы двигателей постоянного тока общего применения без смены щеток должен составлять 2000 ч. а вероятность безотказной работы двигателя при указанном числе часов наработки должна быть не менее 0,9 [2.6]. Достижение этих показателей осуществимо двумя путями: применением щеток возможно большего радиального размера и изготовлением их из возможно более износоустойчивых материалов. Возможности первого из перечисленных путей рассмотрены в п. 2.2.1, где указано, что радиальный размер щеток в соответствии с ГОСТ 12232.1-77 может быть доведен до 125 мм. Возможности второго пути решения рассматриваемой задачи состоят в переходе к использованию щеток, в составе которых уменьшается количество сажи и возрастает количество графита. Однако двигаться по указанному пути можно только до тех пор, пока в щетках будет сохраняться необходимый запас коммутирующих свойств. Если же машина по этому показателю напряжена и ее работа может обеспечиваться только щетками, содержащими значительное количество сажи, то для повышения износоустойчивости в них вводятся пропитывающие вещества. Соответствующие технологические операции производятся на предприятиях, изготавливающих щетки. Пропитанные изделия маркируются двояким образом: в одном случае к обозначению исходной марки добавляются некоторые литеры (например, ЭГ2АФ, ЭГ74К, ЭГ74АФ), в дру-

гом — они получают самостоятельную маркировку (ЭГ61, ЭГ85, А8 и др.).

3.6.6. Систематические многолетние наблюдения за изнашиванием рабочих поверхностей коллекторов позволяют характеризовать уровень средней скорости их изнашивания по радиусу $\bar{v}_к$ за 1000 ч:

	v, мм/1000 ч
Коллекторы турбовозбудителей мощностью 120—180 кВт со щетками марки 611М	0,05
То же, мощностью 300—450 кВт со щетками марки ЭГ4	0,10—0,15
Коллекторы судовых электрических машин со щетками марок ЭГ14 и ЭГ74 . .	0,11

Для ряда областей применения определены не средние значения $\bar{v}_к$, а максимальные. Так, у тяговых электрических машин, оборудованных щетками марок ЭГ75, ЭГ61А и ЭГ61, скорости изнашивания коллекторов не превышают соответственно 0,05; 0,06 и 0.07 мм за 100 тыс. км пробега локомотива. При эксплуатации коллекторных машин переменного тока, возбуждаемых со стороны статора и ротора, со щетками марок Г22, Г26 и Г30 $v_{к\,max}$=0,10 мм за 1000 ч. Скорость изнашивания коллекторов однофазных универсальных двигателей со щетками марок Г4 и ЭГ8 за 1000 ч достигает 1,0 мм.

Скорость изнашивания рабочих поверхностей контактных колец цепей возбуждения турбогенераторов различных мощностей при работе со щетками марок ЭГ4, ЭГ2АФ и 611ОМ достигает следующих значений:

	Износ колец за 1000 ч, мм, со щетками		
	ЭГ2АФ	ЭГ4	611ОМ
Кольца положительной полярности			
мощностью 200 МВт	—	0,09	—
мощностью 300 МВт	—	0,20	0,03
Кольца отрицательной полярности			
мощностью 200 МВт	—	0,04	—
мощностью 300 МВт	0,10	—	—

Приведенные здесь значения $v_к$ обусловлены нормальным взаимодействием элементов скользящего контакта. Существенное превышение этих значений указывает на необходимость проверки правильности настройки машины, выбора марки щеток, наличия в слагающем их материале или окружающей среде абразивных веществ. Влияние различных факторов на износ коллекторов и контактных колец подробно рассмотрено в работе [2.1].

3.6.7. Еще одним результатом взаимодействия элементов скользящих контактов работающих электрических машин является, как отмечалось в п. 2.8.10, образование на гранях коллекторных пластин «козырьков». Механизм этого процесса пока еще изучен недостаточно полно. Очень часто этот процесс связывается со способностью поверхностного слоя пластин к «заволакиванию». Существуют высказывания, связывающие этот процесс с особенностями прохождения тока в зоне контакта. Указанные обстоятельства приводят к тому, что при разработке рекомендаций по предотвращению этого процесса прихо-

дится ориентироваться главным образом на данные практики. Последняя располагает большим количеством разнообразных фактов, часто находящихся в противоречии между собой. Так, многолетний опыт эксплуатации тяговых двигателей электровозов показывает, что в отношении заволакивания щетки марки ЭГ2А являются наименее благополучными. В то же время длительные систематические наблюдения за использованием щеток этой марки на нескольких сотнях электрических машин мощностью до 7300 кВт, эксплуатируемых в прокатном производстве, показали, что в этих условиях не было зарегистрировано ни одного случая их отрицательного воздействия на коллекторы. Бесспорным является наблюдение, свидетельствующее о том, что образование козырьков происходит на коллекторах машин, график нагрузки которых содержит периоды холостого хода или весьма малых нагрузок, чередующихся с периодами значительных, пусть даже кратковременных, перегрузок, и что вероятность их возникновения растет по мере перехода от использования графитовых щеток к щеткам, в составе которых есть технический углерод.

Чтобы предотвратить образование козырьков, на стадии проектирования и изготовления машины для ее коллектора выбираются легированные проводниковые материалы в соответствии с рекомендациями РТМ.ОАА.685.003—71. Если же рассматриваемое явление обнаруживается на эксплуатируемой машине, то необходимо осуществить два следующих мероприятия: счистить образовавшиеся козырьки и устранить возможность их дальнейшего образования. Удаление козырьков производят вручную, снимая при этом с граии коллекторных пластин фаски несколько увеличенных по сравнению с обычными размеров. Для того чтобы компенсировать происшедшее при этом уменьшение продолжительности периода коммутации, целесообразно осуществить раздвижку щеток (см. п. 3.6.3). Производя описываемые операции, не лишне проверить нажатие на щетки и, если окажется возможным, уменьшить его до допустимого нижнего предела. Сложнее устранить возможность дальнейшего образования козырьков. Для этого оказывается необходимым либо заменить марку применяемых щеток, либо упрочнить поверхностный слой коллекторных пластин [3.16]. В п. 3.6.7 отмечался зафиксированный практикой факт возрастания вероятности образования козырьков по мере перехода к использованию щеток, содержащих в своем составе все большее количество технического углерода. Используя отмеченное обстоятельство, можно устранять рассматриваемый дефект в работе элементов скользящих контактов, переходя к использованию щеток, основным компонентом которых является не технический углерод, а графит или кокс. Количественная оценка этой закономерности, полученная на основе наблюдений за работой щеток ряда марок на электрических машинах большой мощности прокатного производства, характеризуется следующими цифрами:

Марка щеток	Количество машин, находившихся под наблюдением, шт.	Относительное количество машин, на которых наблюдалось образование козырьков, %
ЭГ2А	383	0
ЭГ51	236	0,4
ЭГ54	37	0
ЭГ14	497	0
ЭГ74	801	5,5
ЭГ4	276	0,3

3.6.8. Еще одним способом нормализации работы элементов скользящего контакта может служить установка на электрической машине комплекта щеток, в состав которого входят изделия двух разных марок. Описанное в п. 3.6.4 применение смазывающих щеток является одним из вариантов такого способа. Изменяя соотношение устанавливаемого на электрическую машину количества сажевых и графитных щеток, эксплуатационник по сути дела решает ту же задачу, что и технолог щеточного производства, создающий новые материалы путем изменения соотношения входящих в них компонентов: сажи и графита. В пределе, установив в щеткодержателях бракетов одной полярности сажевые щетки, а в держателях бракетов другой полярности щетки из натурального графита, получают результат, характерный для работы щеток некоторой средней между ними марки. Эффективность использования смешанного комплекта щеток иллюстрируется опытом их эксплуатации на генераторе типа ГП-20-3500, входящем в состав трехмашинного преобразовательного агрегата слябинга. Применение здесь комплекта щеток, одна половина которого состояла из изделий сажевой композиции (марка ЭГ74), а другая из натурального графита (марка ЭГ4), привело к тому, что средняя скорость изнашивания щеток марки ЭГ74 снизилась с 7,5 до 2,8 мм за 1000 ч эксплуатации.

3.6.9. Факторами, определяющими возможность нормального функционирования скользящего контакта электрических машин, являются также химический состав окружающей среды и присутствие в ней взвешенных абразивных частиц. Подавляющее большинство электрических машин эксплуатируется в среде атмосферного воздуха, являющегося физической смесью 75% азота, 23% кислорода и 2% других газов. Когда атмосфера не загрязнена химически активными парами и газами, нагретая поверхность коллектора поглощает из воздуха кислород, который диффундирует под слой политуры и окисляет медь. Истирание щетками слоя политуры и процесс ее образования находятся в динамическом равновесии, и скользящий контакт функционирует нормально. Появление в окружающей атмосфере химически активных веществ изменяет характер протекания этого процесса, и работа элементов контакта нарушается: исчезает политура, возникают вибрации, увеличивается износ, возникает искрение и т. п. Радикальным средством ликвидации возникших нарушений является устранение из окружающей атмосферы появившихся в ней вредных примесей. В отдельных случаях выход может быть найден в применении щеток соответствующих марок. Например, электрические машины, эксплуатируемые в атмосфере, содержащей кремнийорганические соединения, могут успешно работать со щетками марки ЭГ74К.

Первым из указанных средств — очищением окружающей атмосферы — следует пользоваться и в случае появления в ней взвешенных абразивных частиц. Невыполнение этого условия приводит примерно к таким же нарушениям работы контакта, которые наблюдаются при появлении в атмосфере химически активных веществ, но только при загрязнении ее механическими частицами поверхности щеток и коллекторов покрываются бороздками и глубокими рисками.

3.6.10. Особую роль в обеспечении нормальной работы скользящего контакта электрических машин играет присутствие в окружающей их атмосфере влаги. Содержание ее определяется температурой атмосферы, ее давлением и в зависимости от соотношения указанных параметров оно изменяется в широких пределах. Если абсолютное количество влаги в 1 м^3 воздуха окажется менее 3—1 г, работа электрического скользящего контакта нарушается: исчезает политура, катастрофически изнашиваются щетки, нарушается коммутация. Во

избежание этого необходимо, чтобы объемная влажность поступающего в зону контакта воздуха не снижалась до критического предела, а превышала его. Объемная влажность воздуха при различной его относительной влажности и температуре показана в табл. 3.6. При состоянии среды в пределах зоны I, в которой объемная влажность воздуха ниже 1 г/м^3, скользящий контакт нормально функционировать не может.

В зоне II, в которой объемная влажность колеблется от 1 до 3 г/м^3, скользящий контакт работает неустойчиво; и только при состоянии среды, охватываемой зоной III, когда в 1 м^3 воздуха содержится 3—20 г водяных паров, для работы элементов скользящего контакта создаются оптимальные условия. Переход в зону IV обуславливает появление в атмосфере избыточного количества влаги, что приводит к ухудшению работы контакта.

Для пользования табл. 3.6 помимо температуры воздуха необходимо знать его относительную влажность. Ее определяют с помощью психрометра, который в простейшем виде представляет собой прибор, состоящий из двух термометров. Ртутная или спиртовая колбочка одного из них погружена в испаритель, вследствие чего показания этого влажного термометра будут всегда меньше, чем показания сухого. По разности этих показаний и по температуре, отсчитываемой на влажном термометре $T_в$, пользуясь психрометрической табл. 3.7 определяют значение относительной влажности.

Если при эксплуатации электрической машины выявится недостаток влаги в окружающей среде (такой случай происходит при резком охлаждении этой среды), то последнюю необходимо увлажнить. Сделать это лучше всего, введя в нее влажный пар. Если подобную рекомендацию осуществить по каким-либо причинам нельзя, следует применить щетки со специальными пропитками (высотные).

3.6.11. В процессе эксплуатации щеток не следует оставлять без внимания воздействие продуктов их изнашивания на сопротивление изоляции электрических машин. Эти продукты представляют собой частицы материала щетки. Размер частиц лежит в пределах от 0,1 до нескольких десятков микрометров, они наэлектризованы и содержат значительное количество кислорода. Под действием электростатических сил частицы осаждаются на поверхностях изоляции обмоток, внедряются в имеющиеся на них микротрещины и, создавая пути для токов утечки, снижают общее сопротивление изоляции. Особенно интенсивно описываемые явления развиваются при использовании щеток на сажевой основе и при наличии в полости машины паров масла. Если сопротивление изоляции оказывается менее установленной в стандарте или технических условиях нормы на данный вид машины, то эксплуатационный персонал вынужден проводить трудоемкую работу по очистке изоляции обмоток от щеточной пыли.

Вопрос о продуктах изнашивания щеток становится актуальным для электрических машин с замкнутым циклом вентиляции. В указанном случае возникает необходимость в оборудовании электрических машин фильтрами. Для расчета последних необходимо располагать данными о количестве образующихся в работающей машине этих продуктов. Объем щеточной пыли, м^3/ч, образуемой изнашивающимися щетками за 1 час их работы, определяется по формуле

$$V_п = 0{,}2 \frac{P_м}{JU\eta} \bar{v} \frac{\rho_v}{\rho_п} \cdot 10^{-6}, \qquad (3.17)$$

где $P_м$ — мощность электрической машины, кВт; U — напряжение, В; η — КПД электрической машины; $\bar{v}$ — средняя скорость изнашивания

Таблица 3.6. **Объемная (абсолютная) влажность воздуха при различных значениях его температуры и относительной влажности, г/м³**

Относительная влажность, %	Температура воздуха, °C														
	−20	−15	−10	−5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,11	0,16	0,23	0,34	0,49	0,68	0,94	1,28	1,72	2,29	3,01	3,93	5,08	6,50	8,23
20	0,22	0,32	0,46	0,68	0,98	1,36	1,88	2,56	3,44	4,58	6,02	7,86	10,16	13,00	16,46
25	0,26	0,40	0,58	0,85	1,23	1,70	2,35	3,20	4,30	5,73	7,52	9,83	12,70	16,25	20,58
30	0,33	0,48	0,69	1,02	1,47	2,04	2,82	3,84	5,16	6,87	9,03	11,79	15,24	19,50	24,69
35	0,39	0,56	0,81	1,19	1,71	2,38	3,29	4,48	6,02	8,02	10,53	13,76	17,78	22,75	28,81
40	0,44	0,64	0,92	1,36	1,96	2,72	3,76	5,12	6,88	9,16	12,04	15,72	20,32	26,00	32,92
45	0,50	0,72	1,04	1,53	2,20	3,06	4,23	5,76	7,75	10,31	13,54	17,69	22,86	29,25	37,04
50	0,55	0,80	1,15	1,70	2,45	3,40	4,70	6,40	8,60	11,45	15,05	19,65	25,40	32,50	41,15
55	0,60	0,88	1,26	1,87	2,70	3,74	5,16	7,05	9,46	12,60	16,55	21,62	27,94	35,75	45,29
60	0,66	0,96	1,38	2,04	2,84	4,08	5,54	7,68	10,30	13,74	18,06	23,58	30,48	39,00	49,38
65	0,72	1,04	1,49	2,21	3,18	4,42	6,10	8,32	11,19	14,89	19,56	25,55	33,02	42,25	53,50
70	0,77	1,12	1,61	2,38	3,42	4,76	6,58	8,96	12,04	16,03	21,07	27,51	35,56	45,50	57,61
75	0,88	1,20	1,72	2,55	3,67	5,10	7,05	9,60	12,90	17,18	22,57	29,48	38,10	48,75	61,73
80	0,83	1,28	1,84	2,72	3,92	5,44	7,51	10,24	13,26	18,32	24,08	31,44	40,64	52,00	65,84
85	0,94	1,36	1,95	2,89	4,16	5,78	7,79	10,90	14,60	19,47	25,58	33,41	43,18	55,25	69,96
90	0,99	1,44	2,04	3,06	4,40	6,12	8,45	11,50	15,50	20,51	27,09	35,37	45,72	58,50	74,07
95	1,05	1,52	2,18	3,23	4,65	6,46	8,93	12,15	16,34	21,76	28,59	37,34	48,26	61,25	78,19
100	1,10	1,6	2,3	3,40	4,90	6,80	9,40	12,80	17,20	22,90	30,10	39,30	50,80	65,00	82,30

Зона I

Зона II

Зона III

Зона IV

Таблица 3.7. **Психрометрическая таблица относительной влажности воздуха, %**

Разность показаний термометров, °С	Показания влажного термометра $T_п$, °С								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
1	81	85	87	89	91	92	93	93	94
2	64	71	76	80	82	84	86	86	88
3	50	59	66	71	75	77	79	79	80
4	36	48	57	63	67	70	74	74	78
5	26	39	48	55	61	65	71	70	73
6	16	30	41	49	55	59	63	66	—
7	7	23	34	43	49	54	58	62	—
8	—	17	28	37	44	50	54	58	—
9	—	10	23	33	40	45	50	54	—
10	—	—	19	28	36	42	46	50	—

щеток, мм за 1000 ч; J — расчетная плотность тока в щетках, А/см²; $\rho_у$ — плотность щеточного материала, кг/м³; $\rho_н$ — насыпная плотность продуктов износа щеток, кг/м³.

Расчет по приведенной формуле значительно упрощается, если обозначить:

$$0,2\frac{\rho_у}{J\eta\rho_н} = K.$$

Тогда (3.17) примет вид:

$$V_п = P_м \bar{v} K/U. \qquad (3.18)$$

Воспользовавшись данными вспомогательной табл. 3.8, определение искомого значения $V_п$ можно выполнить с помощью номограммы, показанной на рис. 3.16. На этой номограмме в качестве примера произведено определение объема продуктов изнашивания щеток марки ЭГ74, работающих на машине мощностью $P_м = 4500$ кВт при напряжении 460 В ($K/U = 0,36 \cdot 10^{-6}$) со средней скоростью изнашивания за 1000 ч $\bar{v} = 4,5$ мм. В результате соответствующих построений получено, что $V_п = 7 \cdot 10^{-6}$ м³/ч.

Таблица 3.8. **Значения K/U для щеток некоторых марок, $\times 10^{-3}$**

Напряжение машин, В	Марки щеток			Напряжение машин, В	Марки щеток		
	ЭГ2А	ЭГ4, ЭГ14, ЭГ51	ЭГ74, ЭГ74АФ, ЭГ85		ЭГ2А	ЭГ4, ЭГ14, ЭГ54	ЭГ74, ЭГ74АФ, ЭГ85
240	0,82	0,76	0,69	750	0,26	0,24	0,22
320	0,62	0,57	0,52	860	0,23	0,21	0,19
460	0,43	0,39	0,36	900	0,22	0,20	0,18
550	0,36	0,33	0,30	1000	0,19	0,18	0,16
640	0,31	0,28	0,26				

Примечание. Расчеты произведены при $J = J_{ном}$ по ГОСТ 2332-76; $\eta = 0,85$; $\rho_н = 200$ кг/м³.

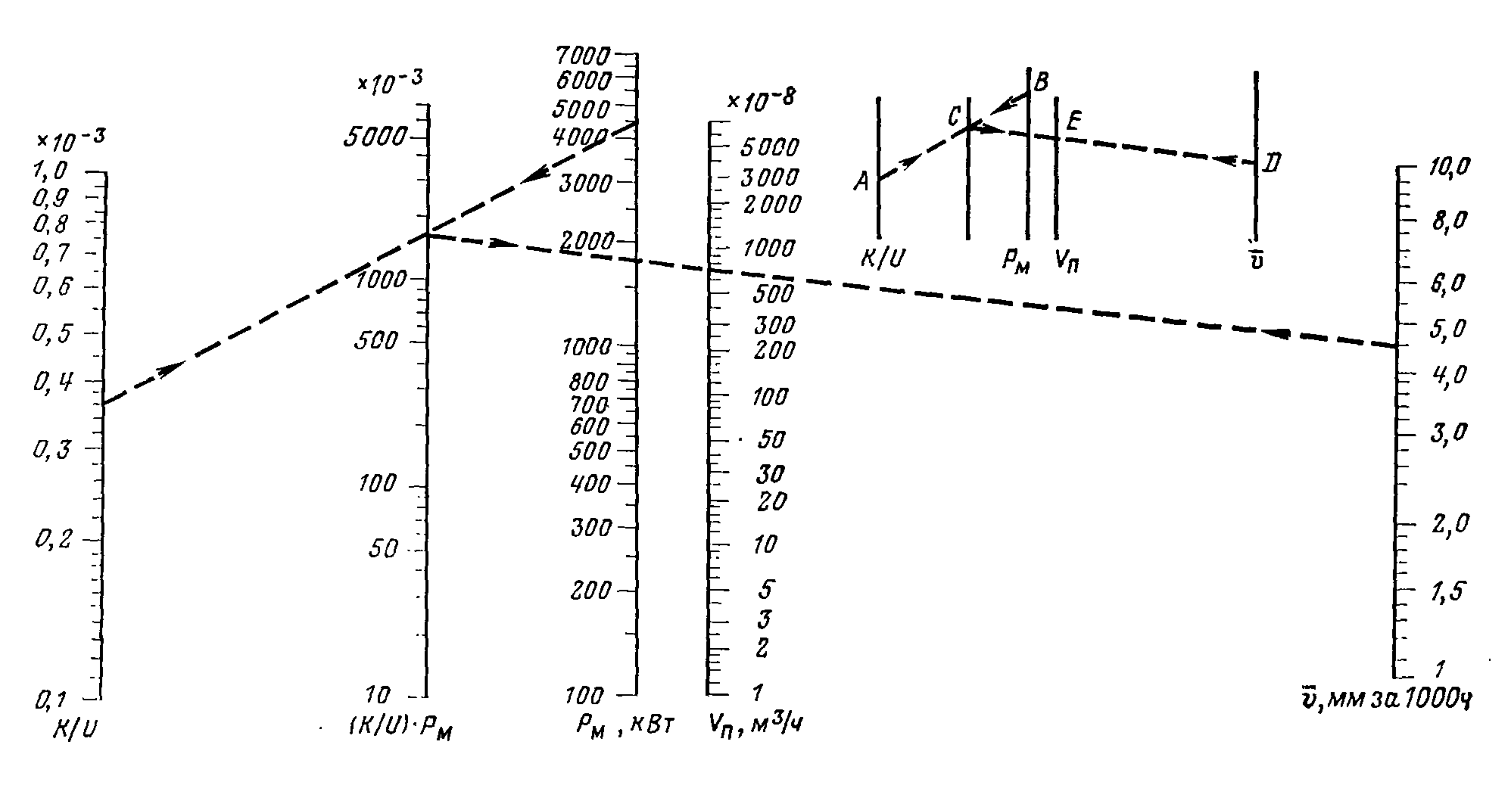


Рис. 3.16. Номограмма для определения количества продуктов износа щеток

3.7. Выявление причин неудовлетворительной работы скользящего контакта электрических машин

3.7.1. Неудовлетворительная работа скользящего контакта электрических машин имеет различные признаки. Они без труда обнаруживаются в процессе наблюдений за состоянием щеток, элементов их арматуры, щеткодержателей и рабочих поверхностей коллекторов и контактных колец. Один и тот же дефект в работе той или иной детали скользящего контакта может быть вызван несколькими причинами. В то же время какая-либо отдельная из этих причин может вызвать появление различных дефектов. Указанные обстоятельства затрудняют обнаружение причин, вызывающих нарушение нормального функционирования скользящего контакта. Задача состоит в том, чтобы эти причины выявить и устранить с наименьшими затратами времени и труда. Обобщение практики эксплуатации электрических машин свидетельствует о том, что наиболее часто нарушение нормальной работы скользящего контакта вызвано следующими причинами:

1. Зазоры магнитной системы неодинаковы.
2. Воздушное давление под электрощеткой выше атмосферного.
3. Запыленная атмосфера.
4. Атмосфера загрязнена газами, вызывающими коррозию.
5. Атмосфера насыщена химическими веществами.
6. Атмосфера содержит очень мало влаги.
7. Атмосфера содержит много влаги.
8. В атмосфере содержатся липкие и клеящие вещества.
9. Между кольцами осаждается щеточная пыль.
10. Неравномерное нажатие щетки.
11. Заедание деталей механизма щеткодержателя.
12. Щетка свешивается с контактного кольца.
13. Неравномерное расположение щеток на кольцах синхронных машин, вызывающее неравномерный нагрев разных участков кольца.
14. На контактной поверхности щеток имеются неровности, воспроизводящие неровности поверхности скольжения кольца.
15. Угол наклона реактивных щеток мал.
16. Заедание щеток в щеткодержателях.
17. Щетки слишком твердые.
18. Щетки слишком мягкие.
19. Щетки слишком тяжелые.
20. Щетки имеют слишком большую площадь поперечного сечения (повышенные механические потери).
21. Чрезмерно большой зазор между щеткой и обоймой щеткодержателя.
22. Увеличенное расстояние между коллектором и нижней кромкой обоймы щеткодержателя.
23. МДС добавочных полюсов не соответствует требуемым условиям работы.
24. МДС добавочных полюсов слишком велика.
25. МДС добавочных полюсов слишком мала.
26. Местное биение пластин коллектора.
27. На пластинах коллектора совсем не сняты или плохо сняты фаски.
28. Коллекторные пластины замкнуты.
29. Деформация коллектора.
30. На поверхности коллектора плоские места (лыски).
31. Контактное сопротивление щеток слишком велико.

32. Контактное сопротивление щеток слишком мало.

33. Контактная поверхность щеток и коллектора слишком заполирована («остеклена»).

34. Неравномерное распределение тока между параллельно включенными щетками.

35. Размеры наконечников токоведущих проводов выбраны неправильно.

36. Размеры токоведущих проводов и их наконечников выбраны неправильно или они некачественно соединены.

37. Токоведущие провода соприкасаются с контактным кольцом.

38. Материал токоведущих проводов слишком жесткий.

39. Токоведущие провода слишком длинные.

40. Токоведущие провода слишком короткие.

41. Токоведущие провода недостаточно эластичные.

42. Расшатан фундамент машины.

43. Высокое межламельное напряжение.

44. Значительные колебания нагрузки.

45. Химическое взаимодействие поверхности коллектора или кольца с материалом щеток у неработающей машины.

46. Дебаланс электрической машины.

47. Перегрузки электрической машины.

48. Электрическая машина останавливается всегда в одном и том же положении.

49. Электрическая машина продолжительное время работает с очень малой или нулевой нагрузкой.

50. Выступает изоляция между коллекторными пластинами.

51. Выбрасывание смазки.

52. Подшипник электрической машины изношен.

53. Несовершенное качество щеток.

54. Материал контактного кольца содержит вредные примеси.

55. Периодические изменения (или гармонические составляющие) нагрузочного тока.

56. На поверхности контактного кольца имеются плоские места (лыски).

57. Давление пружин щеткодержателей выбрано неправильно.

58. Давление пружин щеткодержателей завышено (*а*) или занижено (*б*).

59. Неправильная установка щеток в радиальном направлении.

60. Неправильная расстановка щеток по окружности коллектора.

61. Очень большой пусковой ток.

62. Изношенный щеткодержатель.

63. Тангенциальный размер выбран неправильно.

64. Несимметричное расположение щеток.

65. Неудовлетворительная вентиляция.

66. Вибрация из-за дефектов в системе передачи.

67. Биение в электрической машине, особенно в машине вертикального исполнения.

68. Дефект обмоток.

69. Неправильно выбрана марка щеток.

70. Дефект пайки уравнительных или витковых соединений.

71. Неправильная обработка коллектора, обусловленная дрожанием резки.

Введенные здесь номера для различных причин, нарушающих нормальную работу скользящего контакта, будут использованы в последующем изложении при анализе признаков неудовлетворительной работы.

3.7.2. Признаки неудовлетворительной работы щеток, эксплуатируемых на коллекторных электрических машинах и машинах с контактными кольцами, довольно многочисленны. Эти признаки и возможные причины их возникновения перечислены в табл. 3.9.

Таблица 3.9. **Выявление нарушений нормальной работы щеток электрических машин**

Признаки неудовлетворительной работы щеток	№ возможной причины, вызывающей неудовлетворительную работу щеток	
	в коллекторных машинах	в машинах с контактными кольцами
Искрение:		
всех щеток по контактной поверхности	3, 5, 6, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 36, 44, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 60, 62, 63, 64, 69	2, 34, 53, 38, 69
отдельных щеток на одном или разных бракетах	10, 34	—
по набегающей грани	21, 22, 26, 29, 42, 46, 52, 56, 62, 66, 67	8, 11, 16, 19, 33, 46, 52, 53, 56, 57, 62, 66, 69
по сбегающей грани	4, 5, 23, 32, 47, 55, 57, 60, 63, 68, 69	
мелкое перемежающееся	10, 15, 17, 19, 21, 22, 25, 27, 29, 33, 46, 49, 52, 53, 55, 62, 64, 66	—
вылетают искры	4, 5, 17, 22, 26, 29, 34, 46, 52, 66, 67	—
Быстрое изнашивание:		
равномерное	3, 5, 6, 27, 44, 50, 53, 59, 62,	3, 5, 6, 44, 53, 62
неравномерное	5, 10, 11, 16, 25, 34, 36, 44, 47, 53, 59, 64, 68	5, 10, 11, 34, 36, 53
несимметричное	3, 15, 21, 22, 26, 29, 30, 33, 36, 46, 49, 50, 52, 53, 57, 62, 66	—
вибрация	6, 15, 17, 21, 22, 27, 33, 49, 50, 53, 57, 62	6, 17, 21, 22, 33, 49, 53, 57, 62
скалывание	15, 17, 19, 22, 26, 29, 30, 42, 46, 50, 52, 53, 57, 62	12, 14, 52, 53, 56, 57, 62, 66
расслоение	11, 16, 18, 22, 26, 34, 44, 53, 57, 66	11, 16, 18, 53
перегрев	5, 11, 20, 23, 24, 25, 32, 33, 34, 36, 44, 47, 53, 57, 60, 63, 68	2, 5, 8, 10, 11, 20, 31, 33, 35, 36, 53
скрип	6, 15, 17, 33, 49, 53	6, 17, 33, 49, 53
зависание	3, 8, 11, 16, 40, 41, 51, 57	3, 8, 11, 16, 40, 41, 57
Изменение контактной поверхности:		—
глянцевание	25, 32, 43, 68	4, 5, 6, 7, 58(б)
подгар и разрушение	4, 5, 6, 7, 47, 58(б)	3
риски и задиры на боковых гранях	3	

3.7.3. Неудовлетворительная работа щеток вызывает изменение состояния их арматуры (токоведущих проводов и наконечников). Сведения, позволяющие устанавливать вероятную причину, приводящую элементы щеток в то или иное состояние, приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10. **Выявление нарушений удовлетворительного состояния арматуры щеток электрических машин**

Признаки неудовлетворительного состояния арматуры щеток	№ возможной причины, вызывающей неудовлетворительное состояние арматуры щеток	
	в коллекторных машинах	в машинах с контактными кольцами
Токоведущий провод:		
перегревается	1, 10, 11, 16, 34, 35, 36, 47, 53	
корродирует	4, 5	
растрепывается	4, 5, 36. 38, 39, 41	
выдергивается из щетки	15, 17, 22, 26, 30, 33, 34, 36, 49, 50, 53, 62	17, 22, 33, 34, 36, 49, 53, 56, 62
Наконечник перегревается	10, 32, 34, 35, 36, 47	

3.7.4. Нарушения нормальной работы скользящего контакта отражаются также на состоянии рабочих поверхностей коллекторов и контактных колец. Признаки их неудовлетворительного состояния и возможные причины этого указаны в табл. 3.11 и на рис. 3.17.

Таблица 3.11. **Выявление нарушений нормальной работы коллекторов и контактных колец электрических машин**

Признаки неудовлетворительного состояния рабочих поверхностей коллекторов и контактных колец	№ возможной причины, вызывающей неудовлетворительное состояние рабочих поверхностей	
	коллекторов	контактных колец
Рабочая поверхность скольжения:		
перегревается	5, 25, 31, 33, 34, 47, 50, 53, 57, 65, 68	5, 21, 33, 47, 53, 57, 65
деформируется	28, 46, 66	13, 45, 48, 66
быстро изнашивается	3, 17, 58(а), 68	—
приобретает волнистость	17, 32, 53, 59	45, 48, 54, 56, 61, 66
глянцуется	5, 17, 57	—
становится полосатой, покрывается рисками и бороздками (рис. 3.17, *а, б*)	3, 4, 5, 7, 8, 11, 16, 25, 32, 34, 49, 51, 53, 57, 59, 69,	2, 4, 6, 11, 12, 16, 19, 20, 40, 41, 53, 57, 67
покрывается равномерно расположенными пятнами, чередующимися кратно с полюсным шагом (рис. 3.17, *в*)	68, 70	—

Признаки неудовлетворительного состояния рабочих поверхностей коллекторов и контактных колец	№ возможной причины, вызывающей неудовлетворительное состояние рабочих поверхностей	
	коллекторов	контактных колец
покрывается равномерно расположенными пятнами, чередующимися в ином порядке, чем показано на рис. 3.17, *в* (рис. 3.17, *г*)	68	—
покрывается неравномерно расположенными пятнами (рис. 3.17, *д, е*)	3, 4, 5, 6, 7, 47, 58(б)	—
Отдельные пластины кольца:		
подгорают	1, 10, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 50, 55, 57, 60, 63, 64, 66, 67, 68	2, 12, 19, 40, 54, 61
приобретают разную окраску	5, 27, 28, 32, 44, 45, 48, 52, 53, 55, 62, 66, 67	13, 45, 48, 53, 61, 66
подвергаются эрозионному износу	7, 11, 16, 32, 40, 41, 49, 51, 53, 57	7, 11, 16, 19, 20, 32, 40, 41, 51, 53, 57, 67
чернеют в средней части (рис. 3.17, *ж*) или по краям (рис. 3.17, *з*)	71	—

3.7.5. Еще одним следствием нарушения нормальной работы скользящего контакта может явиться изменение состояния щеткодержателей: они перегреваются, и на внутренних стенках обоймы образуются риски и задиры. Перегрев отдельных щеткодержателей может быть вызван неравномерным распределением тока между параллельно включенными щетками, снижением удельного нажатия на них и частицами пыли, попавшими в щеткодержатель из окружающей среды. Частицы этой пыли могут явиться причиной появления рисок и задиров на внутренних стенках обоймы щеткодержателя.

Обнаружив, что те или иные детали скользящего контакта электрической машины находятся в неудовлетворительном состоянии, и выявив причины, обусловившие возникновение такого состояния, необходимо принять меры к их устранению. Возможность проведения необходимых для этой цели работ определяется характером выявленного нарушения, графиком эксплуатации оборудования и режимом работы предприятия, на котором оно эксплуатируется. В самом общем случае следует руководствоваться тем, что устранение дефек-

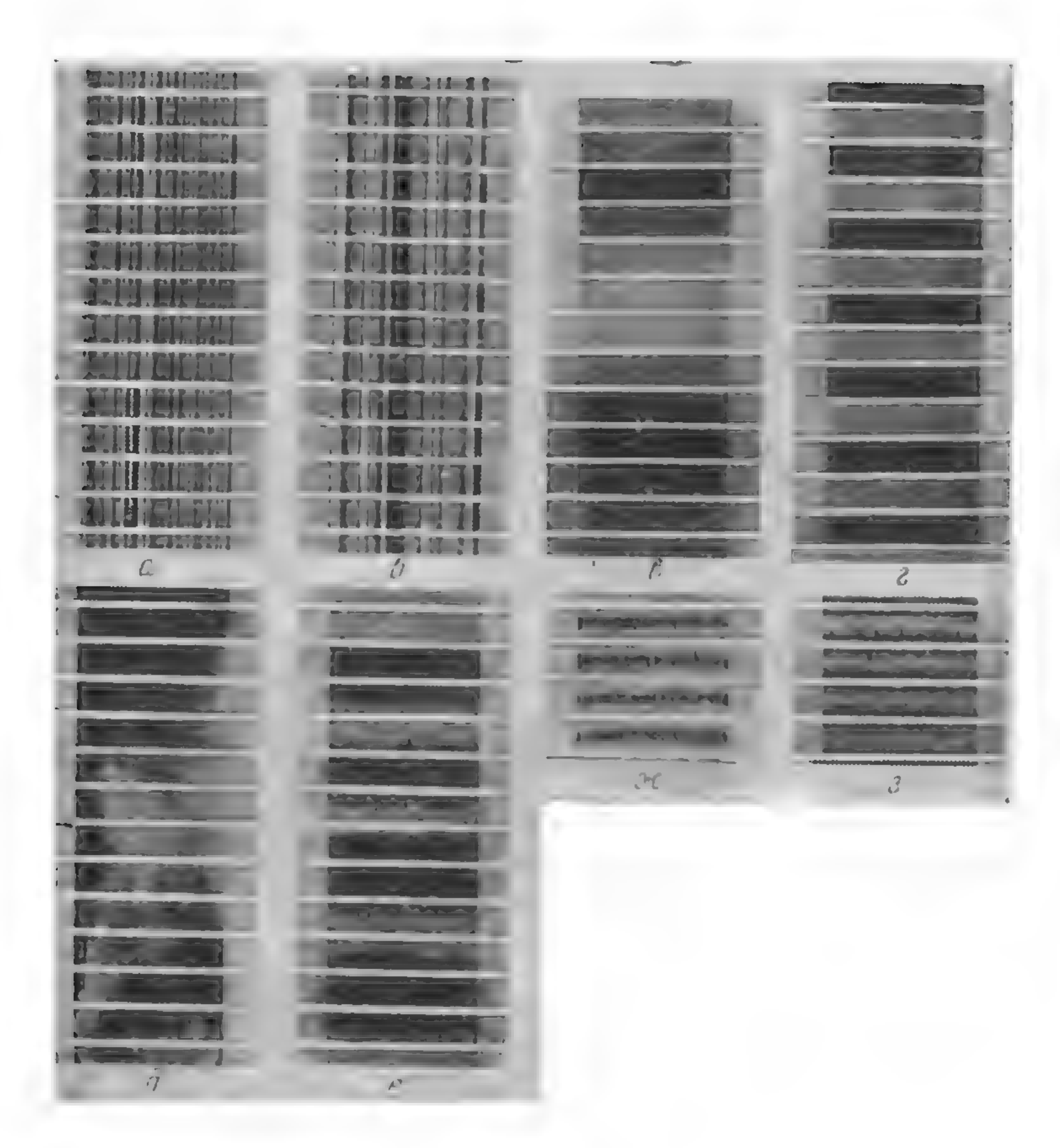


Рис. 3.17. Состояние поверхности скольжения коллектора и контактного кольца при некоторых нарушениях работы скользящего контакта, перечисленных в табл. 3.11

тов в работе элементов электрического скользящего контакта потребует тем меньше усилий и затрат, чем раньше будут устранены причины, их вызывающие.

3.8. Рационализация номенклатуры марок щеток. Расчет норм их расхода

3.8.1. Рассматривая представленный в табл. 1.5—1.13 ассортимент щеточной продукции, изготавливаемой промышленностью различных стран, нельзя не отметить значительного количества содержащихся в нем марок. Подобное обстоятельство обусловлено непрекращающимся развитием и совершенствованием электрических машин, предъявляющих к щеткам новые, все более жесткие требования. Удовлетворяя эти требования, изготовители щеток создают новые образцы своей

12 Заказ № 463

продукции и, поскольку при этом старые марки изделий продолжают использоваться потребителями, номенклатура марок щеточной продукции постоянно расширяется. В условиях непланового хозяйства на описываемый процесс накладываются еще рекламно-конъюнктурные соображения, способствующие увеличению числа предлагаемых потребителям марок щеток. В условиях планового хозяйства этот процесс целесообразно регулировать, подчинив формирование ассортимента определенным требованиям: в него не должны включаться материалы, обладающие практически одинаковыми параметрами, и эксплуатационные свойства изготовленных из них щеток должны быть наилучшими. Для удовлетворения изложенных требований отечественные щеточные предприятия начинают осуществлять рационализацию выпускаемого ими ассортимента марок щеток.

3.8.2. Из ассортимента, выпускавшегося в 70-х годах и перечисленного в табл. 1.5 и 1.6, в первый период проведения работ планируется исключить ряд марок. Для каждой из них в оставляемой для дальнейшего выпуска номенклатуре имеется аналог:

Марка, снимаемая с производства . . .	Г21	611М	М3	М6	МГ	МГ2	МГС5	МГСО1
Марка, рекомендуемая для замены . . .	Г33	611ОМ	М20	М1	МГСО	МГ4	МГС51	МГСОА

Здесь даны рекомендации, основанные на имеющемся опыте произведенных замен. К настоящему времени уже имеются крупные промышленные предприятия, где приведенные рекомендации реализованы полностью.

3.8.3. Рациональная перестройка выпускаемого отечественной промышленностью ассортимента марок щеток наряду с прекращением производства одних видов предусматривает расширение массового выпуска щеток новых марок, прошедших эксплуатационную проверку. В ближайшие годы рекомендуется ориентироваться на всемерное расширение применения щеток марок ЭГ84-1, ЭГ61А, Г33, МГСОА, 611ОМ, МГС51, 96-0 и др. Эксплуатационные свойства щеток перечисленных марок при использовании в соответствующих для каждой из них областях оказываются, как правило, наилучшими. По указанной причине их применение должно последовательно расширяться.

3.8.4. Осуществляемая в отечественной промышленности перестройка ассортимента щеточной продукции заслуживает самого пристального внимания персонала, эксплуатирующего электромашинное оборудование. Пользуясь излагаемыми здесь сведениями о перестройке, сокращая на их основе количество применяемых на данном предприятии марок щеток и сочетая эту работу с переходом на использование щеток, имеющих унифицированные размеры, фасоны и конструкции, т. е. изготовленных по унифицированным чертежам (см. п. 2.2.8), эксплуатационный персонал создает условия для упрощения обслуживания электрических машин и существенно повышает взаимозаменяемость щеток. При этом, естественно, повышается общая надежность работы электрооборудования и сокращается время, затрачиваемое на поддержание его в работоспособном состоянии.

3.8.5. Наряду с решением задач по выбору марок и конструкций персонал, эксплуатирующий электрические машины, должен заботиться об обеспечении этих машин необходимым количеством запасных щеток. Метод решения этой задачи определяется характером эксплуатируемой машины и техническим документом, по которому для

нее поставляются щетки. Ряд машин специализированного назначения с фиксированными режимами работы обеспечивается щетками по документам, в которых указывается, что гарантийная наработка щеток должна соответствовать гарантийной наработке данной электрической машины. В этом случае вопрос о запасных щетках не возникает. По другому обстоит дело с обеспечением щетками электрических машин общепромышленного назначения, режимы работы и условия эксплуатации которых четко не определены. В подавляющем большинстве срок службы подобных машин исчисляется 12—15 годами при среднем ресурсе в 30—40 тыс. ч [3.14]. Естественно, что в этой ситуации расчет количества щеток, необходимых для обеспечения работы машины, приобретает самостоятельное значение.

3.8.6. Для определения необходимого для машины количества запасных щеток можно воспользоваться приведенной в табл. 2.24 формулой (2.20), с помощью которой определяется вероятность их безотказной работы. В самом деле, рассчитывая по этой формуле относительное количество щеток, которое будет продолжать оставаться на машине через t часов работы установленного на ней комплекта щеток, одновременно получают ответ и на вопрос: сколько же щеток к этому времени потребует замены ввиду их полного износа. Возвращаясь к примеру 3 п. 2.8.9, находим, что в рассмотренном там случае через 8000 ч работы на машине будет продолжать оставаться 75,2% первоначально установленных щеток. Следовательно, 24,8% комплекта к тому времени уже должны быть заменены. Формула (2.20) позволяет определить время t_{50}, в течение которого будет изношено 50% щеток. Это произойдет при условии, когда

$$P(t_{50}) = F_0\left[\frac{(r - r_{\text{пр}})/t_{50} - \bar{v}}{\sigma_v}\right] = 0{,}500. \qquad (3.19)$$

В соответствии с приложением 2 последнее равенство будет иметь место, когда стоящий в квадратных скобках многочлен будет равен нулю, т. е. когда

$$(r - r_{\text{пр}})/t_{50} - \bar{v} = 0.$$

Следовательно, искомое время

$$t_{50} = (r - r_{\text{пр}})/\bar{v}. \qquad (3.20)$$

Продолжая оперировать цифрами примера 3, получаем, что время, в течение которого на машине износится 50% щеток, окажется равным

$$t_{50} = 35/0{,}00374 = 9360 \text{ ч}.$$

Отказ первой, наиболее быстро изнашиваемой щетки комплекта произойдет в соответствии с формулой (2.11) через

$$t_1 = \frac{r - r_{\text{пр}}}{\bar{v} + 3\sigma_v} = \frac{35}{0{,}00374 + 3\cdot 0{,}00093} = 5370 \text{ ч}.$$

Таким образом, в течение первых 5370 ч работы снятия щеток с машины по причине их полного износа происходить не будет, после чего в течение промежутка времени 9360—5370=3990 ч будет изношено и потребует замены 50% первоначально установленных на ней щеток.

3.8.7. Если в процессе эксплуатации отказы щеток наступают не только из-за достижения ими предельного износа, но и из-за меха-

нических разрушений, повреждения мест заделки токоведущего провода то, естественно, что количество щеток, необходимых для обеспечения работы машины в течение заданного промежутка времени, возрастет. Для вычисления этого дополнительного количества щеток следует воспользоваться введенным в рассмотрение в п. 2.8.8 понятием об интенсивности внезапных отказов, односторонняя верхняя доверительная граница которых определяется по формуле (2.21), помещенной в табл. 2.25. Техника выполнения соответствующих вычислений иллюстрируется на примере анализа результатов эксплуатационных испытаний, зафиксированных в табл. 2.23. Здесь отмечено, что через $T=1040$ ч работы из-за механических повреждений электрической машины была снята 1 щетка ($d=1$). Полное количество установленных на машину щеток $N_к=360$ штук. При заданном d входящий в формулу (2.21) член

$$\chi^2_{\beta,2d+2}/2 = 3{,}00,$$

и вычисление по этой формуле дает:

$$\lambda_{ов} = \frac{1}{N_к T}\,\frac{\chi^2_{\beta,2d-2}}{2} = \frac{1}{360\cdot 1040}\cdot 3{,}00 = 8{,}04\cdot 10^{-6}\ ч^{-1}.$$

Оценив интенсивность внезапных отказов, вычислим, какое количество щеток может отказать по этим же причинам за время работы электрической машины в течение $t_1=5370$ ч. С указанной целью напишем формулу (2.21) в следующем виде:

$$\frac{\chi^2_{\beta,2d+2}}{2} = \lambda_{ов} N_к t_1 = 8{,}04\cdot 360\cdot 5370\cdot 10^{-6} = 15{,}5$$

и, воспользовавшись приведенной в примечании к табл. 2.21 зависимостью между d и $\chi^2_{\beta,2d+2}/2$, находим, что рассчитанному значению последней из указанных величин соответствует $d=12$. Таким образом, с достоверностью $\beta=0{,}80$ определено, что ко времени, когда по достижении предельного износа первой щетки наступит отказ из-за механических повреждений, может возникнуть необходимость в замене еще некоторого их количества. Предельное значение этого количества 12 шт.

Сам факт возникновения внезапных отказов свидетельствует о наличии неполадок в работе элементов скользящего контакта. Эти неполадки должны быть выявлены и устранены в возможно более короткий срок.

3.8.8. В приведенных формулах по расчету показателей надежности и определению расхода щеток фигурируют оценки их эксплуатационных свойств в виде величин $\bar{v}$ и σ_v и сведения об их конструктивных размерах, определяемых ресурсом щетки $r_п=r-r_{пр}$. Относительно последней величины следует заметить, что ее можно определять не только как указанную здесь разность, требующую обращения к табл. 2.11, но и как произведение радиального размера щетки r на некоторый множитель k_r:

$$r_п = rk_r. \qquad (3.21)$$

Значения множителя k_r нормированы ГОСТ 12232.1-77, и для щеток типов К1-4, К1-5, К4-2, К6-3, К6-8, К8-4, К8-5, К16-2, К11-4,

К11-2, К17-3, К18-2 и К19-2 при радиальном размере менее 16 мм $k_ч=0{,}5$, а для щеток, радиальный размер которых 16 мм и более, $k_ч=0{,}6$.

Что касается величин $\bar{v}$ и $\bar{\sigma}_v$, то здесь следует обратить внимание на их единицы. Во всех практических задачах эти величины характеризуют износ щеток, отнесенный к тысяче часов их работы на электрической машине. В аналитических выкладках теорий надежности их приходится относить к одному часу работы. Указанное обстоятельство объясняет, почему в одних формулах появляется сомножитель 10^3, а в других — значения $\bar{v}$ и $\bar{\sigma}_v$ приводятся после умножения их на 10^{-3}.

3.8.9. Изложенное выше позволяет определить количество щеток, необходимых для обеспечения работы отдельной электрической машины. Просуммировав результаты подобных расчетов для всех электрических машин производственного комплекса (цеха, завода, объединения), можно определить общее количество требуемых ему щеток для заданного интервала времени работы. В крупных производственных комплексах, где эксплуатируется значительное количество электрических машин и где произведена унификация марок, размеров и конструкций щеток, расчеты можно значительно упростить. Их можно выполнять не для отдельных электрических машин, а для отдельных видов щеток. Поскольку в результате проведенной унификации число применяемых на данном комплексе марок, размеров и конструкций щеток сведено к минимуму, можно поступить следующим образом: все машины, оборудованные одинаковыми по марке, размерам и конструкциям щетками, объединяют в одну группу и принимают, что в цехе (на заводе, объединении) работает столько «обобщенных» электрических машин, сколько получилось объединенных по этому признаку групп. Комплект щеток такой «обобщенной» машины состоит из общего количества их, установленного на всех входящих в группу машинах. Дальнейшие расчеты по определению норм расхода выполняют уже для «обобщенных» машин, число которых тем меньше, чем полнее проведена унификация щеток. При формировании «обобщенных» машин не следует объединять в одну группу машины, работающие в различных режимах (генераторный, двигательный), а необходимые для расчетов значения $\bar{v}$ и $\bar{\sigma}_v$ следует брать из табл. 3.12. В этой таблице обобщены опубликованные в разных источниках информации оценки некоторых эксплуатационных свойств щеток, полученные в результате массовых и систематических наблюдений за их работой на электрических машинах ряда отраслей народного хозяйства.

Без претензий на высокую точность и ограничиваясь приближенным решением задачи, эти цифры можно использовать для соответствующих расчетов и для других случаев применения машин. При этом для каждой из них необходимо подобрать аналог из числа содержащихся в табл. 3.12.

В заключение следует заметить, что подсчитанный описанным образом расход щеток определяется чисто техническими и эксплуатационными факторами. Это означает, что он характеризует работу щеток, обладающих определенными свойствами, используемых в определенных режимах и описываемых соответствующими значениями $\bar{v}$ и $\bar{\sigma}_v$. В зависимости от принятой на том или ином промышленном предприятии системы ухода, осмотра и ремонта машин, организации снабжения и планируемых (нормативных) запасов, расчетные нормы расхода щеток должны надлежащим образом корректироваться.

Таблица 3.12. **Справочные сведения о параметрах износа щеток некоторых марок, эксплуатируемых в электрических машинах ряда отраслей народного хозяйства (обобщенные данные)**

Сведения об электрических машинах			Марка щеток	$\bar{v}$, мм за 1000 ч	σ_v, мм за 1000 ч
Назначение	Серия или тип	Мощность, кВт			
А. Машины постоянного тока					
Оборудование прокатного производства предприятий черной металлургии					
Генераторы преобразовательных агрегатов главных приводов обжимных и прокатных станов	ГП, ПБК, П, 2П	200—7300	ЭГ2А ЭГ4 ЭГ14 ЭГ74	4,3 2,7 4,5 5,6	1,20 0,80 1,40 2,00
Двигатели главных приводов нереверсивных прокатных станов	МП, ПБК, П	130—5520	ЭГ2А ЭГ14 ЭГ51 ЭГ74	3,5 3,4 2,9 2,9	2,50 1,90 1,00 1,40
Двигатели главных приводов реверсивных обжимных и прокатных станов	ПБК, П, 2П, МП	880—9130	ЭГ4 ЭГ14 ЭГ51 ЭГ74	1,3 2,5 2,0 2,2	0,50 0,90 1,10 1,00
Генераторы преобразовательных агрегатов приводов вспомогательных механизмов прокатных станов	П, ГПН, ГП, ПН, ГПП	9—1100	ЭГ4 ЭГ14 ЭГ74	1,5 3,4 3,4	1,20 1,40 0,90
Двигатели приводов вспомогательных механизмов прокатных станов	МП, МПС, ДПП, ДП, ПН	2,6—1600	ЭГ2А ЭГ4 ЭГ14 ЭГ51 ЭГ54	1,8 2,2 2,1 0,5 1,7	1,30 1,00 1,90 0,30 0,60

Продолжение табл. 3.12

Сведения об электрических машинах			Марка щеток	$\bar{v}$, мм за 1000 ч	σ_v, мм за 1000 ч
Назначение	Серия или тип	Мощность, кВт			
Оборудование различных промышленных предприятий					
Генераторы преобразовательных агрегатов приводов технологического оборудования	П, ПН, ГП и др.	6–2200	ЭГ2А	1,0	0,81
			ЭГ4	1,1	0,76
			ЭГ14	1,4	0,73
			ЭГ51	0,8	0,64
			ЭГ71	1,1	0,71
			ЭГ74	1,1	0,86
Приводные двигатели технологического оборудования	П, ПБ, МП и др.	3—2400	ЭГ2А	0,7	0,44
			ЭГ4	0,8	0,62
			ЭГ14	0,7	0,48
			ЭГ51	1,2	1,15
			ЭГ71	1,0	0,65
			ЭГ74	1,0	0,80
			Г6	0,8	0,68
Оборудование подвижного состава железнодорожного транспорта[1] [3.2]					
Тяговые двигатели электровозов серии ВЛ22М	ДПЭ-400	400	ЭГ74	2,6	1,6
			ЭГ2А	3,3	2,0
Тяговые двигатели электровозов серии ВЛ60	НБ-412К, НБ-412М	800	ЭГ61	1,8	1,1
			ЭГ74	3,5	2,1
			ЭГ2А	3,7	2,2
Тяговые двигатели тепловозов серии ТЭ3	ЭДТ-200Б		ЭГ61	1,1	0,6
			ЭГ74	1,0	0,6
			ЭГ2А	2,0	1,2

Продолжение табл. 3.12

Сведения об электрических машинах			Марка щеток	$\bar{v}$, мм за 1000 ч	σ_v, мм за 1000 ч
Назначение	Серия или тип	Мощность, кВт			
Тяговые двигатели тепловозов серии 2ТЭ10Л	ЭД-105		ЭГ61	1,2	0,7
			ЭГ2А	3,1	1,9
Тяговые генераторы тепловозов серии ТЭ3 и ТЭ7	МПТ-99/47А	1350	611М	0,6	0,4
			ЭГ14	0,8	0,5
			ЭГ74	0,8	0,5
			ЭГ4	1,2	0,7
Тяговые генераторы тепловозов серии 2ТЭ10Л	ГП-311Б	2000	ЭГ36	1,0	0,6
			ЭГ14	1,8	1,1
			ЭГ74	1,8	1,1
Оборудование электростанций [2] [3.3]					
Возбудители турбогенераторов	ВТ120	120	611М	2,2	0,6
			ЭГ4	3,2	1,5
			ЭГ74	4,3	1,1
	ВТ180	180	611М	5,9	2,0
			ЭГ4	3,5	1,4
	ВТ300	300—400	ЭГ4	6,0	4,1
			ЭГ74	3,8	1,2
	ВТ450	450	ЭГ4	8,5	3,9
			ЭГ74	5,0	0,9
	ВТГ1600	1600	ЭГ14	8,2	3,1

Продолжение табл. 3.12

Сведения об электрических машинах			Марка щеток	$\bar{v}$, мм за 1000 ч	σ_v, мм за 1000 ч
Назначение	Серия или тип	Мощность, кВт			
Б. Машины переменного тока					
Оборудование электростанций [2] [3.3]					
Синхронные турбогенераторы	ТВФ	100000	611ОМ / ЭГ2Ф	4,5 / 6,0	0,8 / 1,6
	ТВВ165	165000	ЭГ4	5,0 / 5,5	1,4 / 2,1
	ТГВ200	200000	ЭГ4	4,5 / 6,0	1,4 / 2,0
	ТГВ300	300000	611ОМ / ЭГ2АФ	3,4 / 3,0	0,8 / 1,1
Оборудование различных промышленных предприятий [3.13]					
Коллекторные двигатели многофазного тока, возбуждаемые с ротора	КВ-13, КВ-14 и др.	1,1—60	Г22 Г26 Г30	1,0 1,0 1,0	0,82 0,85 0,82
Коллекторные двигатели многофазного тока, возбуждаемые со статора	С22-5/4-6 XK5ON BE4ON и др.	0,4—130	ЭГ14 ЭГ51 ЭГ74 Г22	1,7 0,7 1,5 0,8	0,44 0,42 0,58 0,47

[1] Для машин железнодорожного транспорта значения $\bar{v}$ и σ_v определены в миллиметрах за 10 тыс. км пробега локомотива.

[2] В числителе указаны щетки положительной полярности (ток проходит в контактное кольцо), а в знаменателе — щетки отрицательной полярности (ток поступает в щетку из кольца, см. ГОСТ 21888-76).

3.9. Согласование применения щеток

3.9.1. Выбранные при расчете проектируемой электрической машины марка, размеры и конструкция щеток при отладке, настройке и испытаниях построенной машины, проверяются и уточняются, а в последующем в процессе ее нормальной эксплуатации формируется окончательное представление об эксплуатационных свойствах примененных щеток. Для того чтобы зафиксировать достигнутые показатели этих свойств и обосновать гарантии, устанавливаемые стандартами и техническими условиями на щетки, с января 1975 г. в отечественной промышленности введен в действие ОСТ 16.0.690.008-74. Названный документ распространяется на щетки разрабатываемых, модернизируемых и серийно изготавливаемых электрических машин при переводе их на работу со щетками других марок и в другие условия эксплуатации. Действуя в соответствии с названным общесоюзным стандартом, потребители согласовывают с поставщиками щеток возможность их использования на конкретных типах электрических машин и в случаях, когда это представляется возможным, определяют количественную оценку их эксплуатационных свойств (см. например ГОСТ 12919-79).

3.9.2. Согласование применения щеток производится в три этапа: согласование применения опытных партий; согласование применения установочных серий; согласование применения серийной продукции.

Здесь опытными называются щетки, изготовленные по согласованному чертежу из полуфабриката специально разработанной или серийно выпускаемой марки. Изготовление опытных партий щеток может производиться как в условиях опытного производства, так и на заводах серийного производства. Установочной серией называется первая партия щеток, изготовленная в условиях опытного производства или на заводе по рабочей документации, откорректированной после испытания опытной партии. Серийной продукцией здесь называются щетки, изготовленные в условиях опытного производства или на заводе по рабочей документации, откорректированной после испытания установочной партии. Все работы по согласованию проводятся предприятием — разработчиком щеток и предприятием, разрабатывающим электрическую машину.

3.9.3. Согласование применения щеток начинается с того, что предприятие — разработчик электрической машины направляет предприятию — разработчику щеток характеристику условий их использования и эскиз намеченной к применению машины. На основе полученных сведений разработчик щеток создает их рабочий чертеж и, согласовав его с разработчиком электрической машины, изготавливает и передает последнему два комплекта щеток, изготовленных из щеточных материалов двух различных технологических партий. Эти материалы могут быть либо серийными, либо новыми, разработанными для данной машины. В обоих случаях на этом этапе согласования щетки именуются опытными. Два комплекта опытных щеток устанавливаются не менее чем на двух электрических машинах, после чего последние подвергаются проверке по программе периодических испытаний, включая и ресурсные. Для электрических машин со сроком службы более 5000 ч и для машин, у которых при эксплуатации допускается чистка коллекторов, испытания двух комплектов опытных щеток производятся по программе периодических испытаний в течение времени гарантийной наработки комплекта щеток.

Завершив с положительным результатом испытания опытных щеток, разработчики электрической машины и щеток подписывают про-

токол согласования их применения на данном типе электрической машины, после чего соответствующая документация передается изготовителям щеток и машин.

3.9.4. Изготовители щеток и электрических машин, получив от их разработчиков упомянутые документы, осуществляют два последующих этапа согласования. С указанной целью изготовители щеток из полуфабриката двух технологических партий изготавливают два комплекта щеток (установочная серия) и передают их для соответствующих испытаний изготовителю электрических машин. Последний испытывает щетки установочной серии и, получив подтверждение ранее выявленных при испытаниях опытных партий положительных качеств, совместно с изготовителем щеток принимает решение о проведении заключительного этапа согласования. Для его проведения не менее чем на двух машинах повторяются испытания еще раз изготовленных из двух партий полуфабриката щеток (серийная продукция). Программа испытаний соответствует указанной в п. 3.9.3. Если и эти испытания подтвердили ранее полученные результаты, то стороны подписывают протокол согласования применения щеток, которому в дальнейшем присваивается регистрационный номер. На основе этого протокола в последующем электрическая машина и обеспечивается щетками. Описанная система согласования применения щеток исключает появление случайностей в их подборе для различных условий эксплуатации.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЩЕТОК

4.1. Щетки машин постоянного тока

4.1.1. К названной группе принадлежит подавляющая часть электрических машин, работа которых требует применения щеток. Наиболее мощные из этих машин эксплуатируются в прокатных цехах металлургических предприятий, режим работы технологического оборудования которых предъявляет к машинам особо жесткие требования. Эксплуатационные свойства щеток, используемых на основном электрооборудовании различных прокатных цехов, приведены в табл. 4.1—4.6.

4.1.2. По напряженности эксплуатационных режимов к электрическим машинам прокатного производства близко примыкают электрические машины, работающие в горнодобывающей промышленности. Сведения об эксплуатационных свойствах щеток этих машин приведены в табл. 4.7.

4.1.3. Крайне напряжен режим работы щеток на электрических машинах транспортного назначения. Это замечание в первую очередь относится к тяговым двигателям. В меньшей мере оно касается тяговых генераторов. Обобщенная информация об эксплуатационных свойствах щеток, применяемых на перечисленных электрических машинах, содержится в табл. 3.12.

4.1.4. Серьезные требования к щеткам предъявляет судовое электрооборудование. Машины постоянного тока широко используются на ледоколах, судах ледокольного типа, рыбопромысловых судах и некоторых других плавсредствах. Характеристика работы используемых здесь щеток приведена в табл. 4.8.

4.1.5. Широко используются щетки на автотракторном электрооборудовании. Их поставки для этого оборудования производятся по ГОСТ 12919-79, п. 2.6 которого гласит: «Гамма-процентный ресурс щеток должен соответствовать гамма-процентному ресурсу электрических машин, для которых согласовано их применение». Приведенная формулировка означает, что в процессе эксплуатации этих электрических машин замены щеток на них происходить не должно. Подобное построение технических документов на поставку изделий оказывается возможным благодаря предварительно проведенному согласованию применения щеток, подробно описанному в § 3.9.

4.2. Щетки коллекторных машин переменного тока

4.2.1. Распространение коллекторных машин переменного тока в регулируемом приводе оборудования промышленных предприятий обусловлено рядом присущих им преимуществ. Среди этого класса электрических машин наиболее часто встречаются многофазные коллекторные двигатели параллельного возбуждения, возбуждаемые со

Таблица 4.1. Эксплуатационные свойства щеток, используемых в электрооборудовании обжимных станов (блюмингов и слябингов)

Тип	Сведения об электрических машинах			Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднее значение $\bar{v}$	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\bar{v}}$
Генераторы преобразовательных маховичных агрегатов							
П6000/375	6000	1000	375	ЭГ85	1 1/4	3,3	—
П20-35К	2700	950	500	ЭГ85	1 1/4	3,9	1,5
ПС5200/375	5200	980	375	ЭГ85	1 1/2	4,3	0,7
ГП8500/375	6600	700	375	ЭГ74 ЭГ85	1 1/2 1 1/2	9,6 5,1	0,4 0,3
ГП8500/375	7300	830	375	ЭГ74 ЭГ85	1 1/2 1 1/4	8,3 8,3	0,9 0,7
ГП5700/375	5200	950	375	ЭГ85	1 1/4	3,2	0,9
ГП5200/375	5200	900	375	ЭГ14 ЭГ54 ЭГ74	1 1/4 1 1/4 1 1/4	2,5 4,9 5,9	1,3 1,6 1,9
ГП5000/375	5000	750	375	ЭГ14 ЭГ74	1 1/2 1	3,3 3,6	0,7 0,3
ГП3600/375	3600	900	375	ЭГ74 ЭГ85	1 1/4 1 1/4	2,2 2,9	0,8 0,8
ГП3500/500	3500	900	500	ЭГ54	1 1/2	1,9	0,8

Продолжение табл. 4.1

Сведения об электрических машинах				Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
					Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение $\bar{\sigma}_v$
ГП20/3500	3500	750	360	ЭГ74	1 1/4	4,4	0,8
				ЭГ85	1 1/4	4,8	0,7
ПБК-380/125	6035	950	125	ЭГ14	1 1/4	5,5	1,8
				ЭГ74	1 1/4	3,6	1,7
				ЭГ85	1	2,2	0,9
ПБК215/40	4930	900	500	ЭГ4	1	3,1	1,9
Двигатели реверсавных клетей							
П19100/60	9100	900	60	ЭГ85	1 1/4	2,6	0,6
МП11000/65	6800	830	60--90	ЭГ51	1	2,1	0,7
МП3000/100	2200	750	100	ЭГ14	1 1/2	3,3	0,2
				ЭГ51	1 1/4	2,5	0,5
				ЭГ74	1 1/4	2,0	1,2
МПС9000/66	7200	750	53--80	ЭГ74	1	1,5	0,4
ДПП310/150-18	4600	750	50—100	ЭГ4	1 1/2	1,7	0,2
ПБК250/145	4546	900	70—120	ЭГ74	1	0,6	0,2

Т а б л и ц а 4.2. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в электрооборудовании крупносортных станов**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
							Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Генераторы преобразовательных безмаховичных агрегатов								
Рельсобалочный стан	ГП5200/375	5000	800	375	ЭГ54	$1\,^1/_4$	1,9	1,6
					ЭГ14	$1\,^1/_4$	5,2	1,2
Стан «850» рельсобалочного цеха	ПБК215/25	2500	750	500	ЭГ85	$1\,^1/_4$	6,1	1,5
					ЭГ14	$1\,^1/_2$	3,5	0,9
					ЭГ74	$1\,^1/_4$	5,9	1,9
Летучие ножницы стана «700»	ГП1100/750	1100	750	750	ЭГ74	$1\,^1/_4$	4,4	1,0
Ножницы 8000 кН стана «700»	А5343 Г/8	900	600	1000	ЭГ51	$1\,^1/_4$	4,6	0,9
					ЭГ85	$1\,^1/_4$	5,7	1,1
					ЭГ74	1	1,7	1,3
Стан «650» сортопрокатного цеха	ПБК215/40	4960	860	500	ЭГ74	$1\,^1/_4$	4,9	1,5
Стан «900» заготовочного цеха	ПБК215/35	4000	750	500	ЭГ14	$1\,^1/_2$	4,1	1,0
					611М	$1\,^1/_4$	2,5	0,8

Продолжение табл. 4.2

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
							Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатели прокатных клетей								
Главный двигатель непрерывного заготовочного стана «500»	МП5700/320	3200	825	290—430	ЭГ51	1 1/4	3,1	1,3
Двигатель клети непрерывного заготовочного стана «700»	МП2500/185	2000	825	140—350	ЭГ51 ЭГ74	1 1/4 1 1/2	1,3 2,8	0,5 0,8
Двигатель стана «900» рельсобалочного стана	МП20/4000	2950	750	60—120	ЭГ74 ЭГ85 ЭГ14	1 1 1 1/2	3,9 2,1 3,0	1,4 0,9 0,9
Двигатель стана «900»	ПБК-285-120	4560	750	180	ЭГ51 ЭГ85	1 1/2 1 1/4	2,4 3,7	1,0 1,2
Двигатель 2-й группы клетей стана «700»	1А6256/12	1800	650	175—250	ЭГ74 ЭГ74	1 1/4 1 1/4	1,7 1,8	0,7 0,3

Таблица 4.3. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в электрооборудовании среднесортных станов**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Генераторы преобразовательных безмаховичных агрегатов								
Стан «500» сортопрокатного цеха	GM561/25	2500	610	600	ЭГ74	1	3,6	1,4
					611M	1 1/4	0,9	0,4
Стан «300» сортопрокатного цеха	ГП3500/500	2900	750	500	ЭГ2А	1 1/4	4,0	1,1
					ЭГ14	1 1/4	4,2	1,1
					ЭГ74	1	5,0	1,7
Стан «750» сортопрокатного цеха	КП10/35	2000	600	500	ЭГ14	1 1/4	2,5	0,8
					ЭГ74	1 1/4	3,0	1,0
					ЭГ85	1 1/4	3,4	1,2
Стан «500» среднесортного цеха	ГП12/1500	1500	600	500	ЭГ2А	1 1/2	4,2	1,2
					ЭГ74	1 1/4	5,6	1,2
					ЭГ85	1 1/4	6,0	1,4
Двигатели прокатных клетей станов сортопрокатного цеха								
Двигатель клети № 9 стана «300»	МП1500/300	1100	600	300—600	ЭГ74	1 1/4	0,6	0,3
					ЭГ51	1	2,1	0.8
Двигатель клети № 7 стана «300»	ПМ2200/350	1620	600	350 -720	ЭГ85	1 1/4	3,3	0,8

Продолжение табл. 4.3

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатель клети № 7 стана «530»	А5859 F/12	1300	650	200—450	ЭГ51 ЭГ74 ЭГ85	1 1/4 1 1/4 1 1/2	1,5 1,5 1,5	0,6 0,2 0,2
Главный двигатель стана «250»	GW870/320	870	600	320—800	ЭГ74	1	0,9	0,1
Главный двигатель стана «250»	GW680/320	685	600	320—800	ЭГ14 ЭГ74	1 1	1,2 1,0	0,4 0,2
Двигатель клети 6Д стана «280»	А5460 F/8	1000	600	200—400	ЭГ85	1 1/2	4,3	0,8
Двигатель клети № 13 стана «280»	А5253 F/8	600	600	333—1000	ЭГ51 ЭГ54 ЭГ85	1 1/4 1 1/2 1 1/4	1,3 2,1 1,2	0,2 0,9 0,5
Двигатель клети 19Д1 стана «280»	2АР3650F/4	175	600	745—2270	ЭГ85 ЭГ54 ЭГ74 611М	1 1/2 1 1/4 1 1/2 1	6,7 3,9 6,3 1,2	0,8 0,3 0,3 0,1
Двигатель чистовой клети стана «250»	GW1312/32	435	600	900	ЭГ85	1	0,5	0,3

Таблица 4.4. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в электрооборудовании листопрокатных станов**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
							Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Среднее значение $\overline{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Генераторы преобразовательных агрегатов								
Безмаховичный агрегат: стана «2500»	П6000/373	6000	1000	375	ЭГ14	1 1/2	6,3	2,8
					ЭГ85	1 1/4	6,4	1,4
					ЭГ51	1 1/2	8,2	1,9
дрессировочного стана «250»	П172-12К	1400	660	1000	ЭГ85	1 1/4	5,1	1,8
тонколистового стана	ГП3000/375	3000	600	375	ЭГ51	1	1,3	0,4
					ЭГ74	1	2,0	0,6
	ГП16/3000	3000	600	375	ЭГ51	1 1/4	2,5	0,6
					ЭГ74	1 1/4	2,8	0,9
					ЭГ85	1 1/4	2,9	0,6
многоклетьевого стана	ГП1400/750	1300	460	750	611М	1 1/4	0,6	0,3
					ЭГ74	1	2,4	0,7
	ПБК215/35	4200	750	500	ЭГ4	1 1/4	5,2	—
					611М	1 1/4	2,9	0,5
Двигатели прокатных клетей								
Двигатель: дрессировочного стана «2500»	МС-213-15/8	5000	1000	750	Г4	1 1/4	1,6	0,5
клети стана «2500»	2П2800/300	2×2800	1000	300/500	ЭГ51	1 1/4	4,0	0,2
					ЭГ85	1 1/4	4,6	0,9

Продолжение табл. 4.4

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
							Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатель:								
клети № 3 пятиклетьевого стана	ПБК-120/60	1600	750	400/600	ЭГ71 Г6	1 1/4 1 1/4	4,6 0,4	1,0 0,3
клети ДУО	МП3500/30	2580	900	30—60	ЭГ74	1	0,3	0,1
чистовой клети № 7 стана «2500»	МП6800/110	5000	825	110—220	ЭГ14	1 1/4	1,7	1,0
чистовой клети № 10 стана «2500»	МП6800/175	5000	825	175—330	ЭГ14 ЭГ51	1 1/4 1 1/4	3,6 1,6	1,2 0,8
чистовой клети	МП6800/340	5000	750	270—500	ЭГ51 ЭГ74 ЭГ85	1 1/4 1 1 1/4	2,1 3,1 3,0	0,6 0,6 0,5
клети № 3 тонколистового стана	МП6800/340	5000	750	270—500	ЭГ51 ЭГ74	1 1	2,2 3,0	0,4 1,0
клети № 6 тонколистового стана	МП6800/340	5000	750	—	ЭГ51 ЭГ74 ЭГ85	1 1/4 1 1/4 1 1/4	2,8 3,2 3,3	0,9 0,7 0,6
клети № 8 тонколистового стана	МП6800/340	5000	750	—	ЭГ51 ЭГ54 ЭГ74	1 1/4 1 1/4 1 1/4	2,6 3,0 3,5	1,3 0,6 0,5
клети № 3 стана «1700»	МП6800/110	5000	825	175—410	ЭГ14 ЭГ85	1 1/4 1	1,8 4,3	0,7 0,7

Таблица 4.5. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в электрооборудовании цехов холодного проката**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатель								
моталки стана «1700»	3МП4000/210	3×1000	750	600	ЭГ74	1 1/4	0,8	0,3
моталки дрессировочного стана	2МП2700/330	2×1000	450	550	ЭГ74	1 1/4	1,3	0,3
стана «Тандем»	П21/70/15к	3300	630	160—280	ЭГ4	1 1/4	0,5	0,2
Генератор преобразовательного агрегата стана «16804»	ГП12/2500	2500	600	500	ЭГ14	1	1,3	1,1
Двигатель клети № 1 стана «1700»	МП3300/120 2П18/75-9к	2400 2×1000	750 500	— 220—550	ЭГ74 ЭГ4	1 1/4 1 1/4	1,2 0,8	0,6 0,4
Двигатель клети стаяа «1680»	МП12/2250	2250	600	300—500	ЭГ14	1 1/4	0,9	0,7
Генератор преобразовательного агрегата моталки стана «1200»	ПБК120/33	1750	750	750	ЭГ74	1 1/4	7,8	1,6

Продолжение табл. 4.5

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения*	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
							Среднес значения $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатель клетей 20-валкового стана	МС320	1660	700	275—700	ЭГ51	1	3,4	0,7
Главный двигатель дрессировочиого стана	МПА900/450	660	440	530	ЭГ74	$1\,^1/_4$	0,3	0,1
Генератор преобразовательной установки травильного агрегата	ГП630/1000	600	460	530	ЭГ74	$1\,^1/_4$	2,1	0,6
Двигатель летучих ножниц	МПС750/1500	540	440	400	ЭГ74	$1\,^1/_4$	1,9	0,1
Двигатель разматывателя 20-ти валкового стана	МС 100В80	165	440	500—1250	ЭГ51	$1\,^1/_4$	2,5	—

Таблица 4.6. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в электрооборудовании проволочных и трубопрокатных станов**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\overline{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Генераторы преобразовательных безмаховичных агрегатов								
Стан «250» проволочно-штрипсового цеха	AGM440/50	980	230	600	ЭГ14	$1^1/_2$	2,5	0,2
	ГП12/1500	1500	600	500	611М	1	2,9	0,9
Редукционный стан «140» трубопрокатного цеха	МП12/32	600	230	1000	ЭГ74	1	1,9	1,1
Стан «300» проволочно-штрипсового цеха	GM561/25	2500	610	600	ЭГ14	1	3,3	2,1
					ЭГ14	$1^1/_4$	4,4	1,1
					ЭГ74	1	4,0	1,3
					ЭГ85	1	4,4	1,3
Двигатели прокатных клетей								
Двигатель черновой группы прокатных клетей № 1—6 стана «250» проволочно-штрипсового цеха	ПБК 150/33	1850	600	500—700	ЭГ4	$1^1/_2$	4,4	2,2
					ЭГ14	$1^1/_2$	4,6	3,0
					ЭГ74	$1^1/_4$	4,0	2,8

Продолжение табл. 4.6

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
							Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатель клети раскатного стана «140» трубопрокатного цеха	МП450/500	400	750	500—1000	ЭГ2А ЭГ74	1 1	0,2 0,5	0,1 0,2
Двигатель автоматического стана «190» трубопрокатного цеха	МП1200/400	880	750	400—750	ЭГ2А ЭГ14 ЭГ74	1 1 1	0,5 0,5 0,4	0,2 0,4 0,2
Двигатель прошивного стана	МП5000/110	3680	750	110—220	611М ЭГ14 ЭГ85	$1^1/_4$ 1 1	0,7 1,2 1,4	0,3 0,5 0,5
Двигатель раскатного стана «140» трубопрокатного цеха	МП550/500	400	750	500—1000	ЭГ74 ЭГ85	1 1	1,9 2,4	1,5 0,9

Таблица 4.7. Эксплуатационные свойства щеток, используемых в электрооборудовании горнодобывающих машин

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Рудно-козловой кран:								
двигатель подъема грейфера	N0165	200	230	425	ЭГ2А ЭГ14	1¹/₄ 1¹/₄	1,8 2,0	0,3 0,9
двигатель передвижения тележки	МС18	150	230	400	ЭГ2А ЭГ14	1¹/₄ 1¹/₄	1,5 1,1	0,5 0,3
двигатель передвижения моста	МС10	30	230	575	ЭГ2А ЭГ14	1¹/₄ 1¹/₄	2,9 2,4	0,3 0,3
Роторный экскаватор:								
генератор системы Г—Д роторного колеса	G84/37/8 *	780	600	1485	4011 * ЭГ2А ЭГ74	1 — 1¹/₄ 1 — 1¹/₄ 1 — 1¹/₄	13,0 3,3 2,3	2,5 0,4 0,6
генератор подъемной лебедки роторного колеса	G116 *	410	600	1485	4011 * ЭГ2А	1 — 1¹/₄ 1 — 1¹/₄	4,1 2,7	0,6 0,3
генератор ходового устройства	G2117 *	400	600	1480	4011 * ЭГ2А	1 1	5,6 3,3	0,5 0,4

Продолжение табл. 4.7

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\overline{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
генератор поворотного механизма	G295 *	145	480	1480	4011 * ЭГ2А	1 1	2,1 1,4	0,5 0,3
двигатель роторного колеса	GPF264/74 *	350	480	1000—1280	4011 * ЭГ74 ЭГ2А	$1^1/_4$ $1^1/_4$ $1^1/_4$	2,3 1,8 1,6	0,4 0,4 0,3
двигатель подъемной лебедки	GPF254/60 *	180	480	750	4011 * ЭГ74	1 1	6,4 3,4	1,5 0,5
двигатель поворотного механизма	FHF244/38 *	60	480	160—1000	ЭГ2А ЭГ74	1 1	1,1 1,0	0,4 0,2
двигатель ходового механизма	GH244/43 *	50	480	1000—2000	4011 * ЭГ2А	$1^1/_4$ $1^1/_4$	1,8 1,8	0,2 0,5
Рудоперегружатель:								
главный генератор дизельной установки	ДСКА4/145А *	145	600	1500	RE59 *	1	1,1	0,2
генератор дизельного агрегата кабельной тележки	ДСКА4/100К*	100	600	1500	RE59N *	1	1,3	0,2

Продолжение табл. 4.7

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
							Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
двигатель ходового устройства	АМ80/6Р *	56	480	980	МК65 *	1	2,8	0,2
					611М	1	2,0	0,2
двигатель конвейера	АУМ315/6М *	250	600	980	RC70 *	1	2,8	0,2
					МГО	1	1,9	0,1
двигатель кабельного барабана	АМ38В/6 *	7,0	480	1000	МГ65 *	1	1,4	0,1
					611М	1	0,7	0,2
					МГ64	1	0,7	0,2
Рудничные установки:								
генератор преобразовательного агрегата клетьевого подъемника	П19—30/12К	2200	900	750	ЭГ4	1$^1/_4$	2,0	0,1
					ЭГ2А	1	3,2	0,1
	ГП2000—750	1800	750	750	ЭГ4	1$^1/_4$	1,9	0,1
генератор преобразовательного агрегата скипового подъемника	ГП1600—750	1600	550	750	ЭГ4	1	0,9	0,1
					ЭГ2А	1	1,1	0,1

* Изделия (электрические машины, щетки) зарубежного производства, поступившие в СССР по импортным закупкам

Таблица 4.8. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в судовом электрооборудовании**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: среднее значение $\overline{v}$	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: среднеквадратичное отклонение σ_v
Атомный ледокол «Ленин»:								
гребной двигатель бортовой	2МП9800-150	7200	1200	150—215	ЭГ14	1	2,3	1,5
Дизель-электрический ледокол типа «Москва»:								
главный генератор ГЭУ	GM434/80-8 *	2160	600	480	ЭГ74 EG3532 *	1 1/4 1 1/4	0,6 2,1	0,2 0,5
гребной двигатель	GM524/130-10 *	8100	1200	115—155	ЭГ51	1 1/4	1,9	0,5
генератор судовой электростанции	F3541-100 *	385	400	480	611М	1 1/4	0,8	0,1

Продолжение табл. 4.8

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднее значение $\bar{v}$	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднеквадратичное отклонение σ_v
Дизель-электрический ледокол типа «Капитан Мелехов»:								
главный генератор ГЭУ	GTKUL-135/346 *	1370	400	325	ЭГ74	$1^1/_4$	0,7	0,4
гребной двигатель	GTKUL-220/5010 *	2560	400	180	ЭГ74	$1^1/_4$	0,4	0,2
Дизель-электрическое ледокольное судно типа «Лена»:								
главный генератор ГЭУ	МРС-60/84 *	1390	400	360	ЭГ74 EG12 *	$1^1/_2$ $1^1/_2$	2,5 3,9	1,3 1,1
гребной двигатель	МПС-108/88 *	2570	800	150—180	ЭГ14 EG12 *	$1^1/_2$ $1^1/_4$	1,4 3,5	0,7 1,0
генератор судовой электростанции	МР-29/44 *	225	230	428	ЭГ14 EG12 * ЭГ74	$1^1/_4$ $1^1/_4$ $1^1/_4$	0,5 0,5 0,1	0,2 0,1 —

Продолжение табл. 4.8

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Дизель-электрическое судно типа «Выборгский»:								
главный генератор ГЭУ	G110/42 *	875	600	428	SA45 *	1	3,7	0,9
					ЭГ54	1	1,7	0,3
					ЭГ51	1	1,9	0,2
гребной двигатель	G140/41 *	795	600	250	SA45 *	1	1,5	0,5
Зверобойно-рыболовные дизель-электрические суда типа «Зверобой»:								
главный генератор ГЭУ	P999/8/300S/02 *	750	625	750	EG251 *	$1-1^1/_4$	4,0	1,5
					ЭГ14	$1-1^1/_4$	4,0	2,0
					ЭГ51	$1-1^1/_4$	2,8	1,2
					ЭГ85	$1-1^1/_4$	2,6	1,1
гребной электродвигатель	2P1500/12/510S/03*	2×845	625	175	EG251 *	$1-1^1/_4$	0,8	0,2
					EG12 *	$1-1^1/_4$	1,1	—
					ЭГ14	$1-1^1/_4$	1,5	0,9
					ЭГ51	$1-1^1/_4$	0,5	0,2
					ЭГ85	$1-1^1/_4$	0,8	0,2

Продолжение табл. 4.8

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\overline{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
двигатель траловой лебедки	PXO-116F *	290	260	1500	EG12 * ЭГ14 ЭГ51	1 — $1^1/_4$ 1 — $1^1/_4$ 1 — $1^1/_4$	3,4 0,8 1,6	1,8 0,5 1,2
двигатель преобразовательного агрегата	PBOT-116 *	350	310	1000	EG251 * ЭГ51 ЭГ85	$1^1/_4$ $1^1/_4$ $1^1/_4$	2,2 0,9 0,8	1,5 0,4 0,4
Плавкран грузоподъемностью 350 т:								
генератор питания поворотного механизма	G315-M *	138	460	980	E149 * ЭГ2А ЭГ51	1 1 1	0,8 0,7 0,3	0,2 0,3 0,1
генератор питания подъемного механизма	G303B3 *	275	460	980	E149 * ЭГ2А ЭГ74	1 1 1	0,9 0,5 0,2	0,3 0,1 0,2

* Изделия (электрические машины, щетки) зарубежного производства, поступившие в СССР по импортным закупкам.

стороны ротора и снабженные двойным комплектом щеток. Специфика протекания процесса коммутации у рассматриваемых машин требует установки на них щеток, материал которых обладает значительным электрическим сопротивлением. Эксплуатационные свойства используемых здесь щеток приведены в табл. 4.9.

4.2.2. На втором по распространенности в промышленности месте среди коллекторных машин переменного тока находятся многофазные двигатели параллельного возбуждения, возбуждаемые со статора. Здесь, как и в предыдущем случае, используются щетки, материал которых обладает высоким электрическим сопротивлением, их эксплуатационные свойства содержатся в табл. 4.10.

4.2.3. К группе коллекторных машин переменного тока примыкают универсальные коллекторные двигатели, широко используемые в изделиях бытовой техники, электроинструментах, кассовых аппаратах и т. п. Рассматриваемые двигатели обладают малыми габаритами и массой и имеют значительную частоту вращения. Подобные обстоятельства существенно усложняют работу элементов скользящего контакта универсальных двигателей, и скорость изнашивания используемых здесь щеток оказывается, как правило, повышенной. Вот почему в технической документации на щетки машин рассматриваемого назначения можно встретить указание на то, что гарантийная наработка щеток на них составляет всего несколько десятков часов. Наряду с этим существуют двигатели, продолжительность гарантийной наработки щеток которых достигает 2—3 тыс. часов.

4.3. Щетки машин переменного тока с контактными кольцами

4.3.1. Наибольший интерес в этой группе электрических машин представляют мощные синхронные двигатели, входящие в состав безмаховичных преобразовательных агрегатов прокатных цехов металлургических предприятий. Контактные кольца электрических машин рассматриваемой группы изготовлены из черных металлов. Используя на них крайне ограниченную номенклатуру марок щеток, получают результаты, представленные в табл. 4.11.

4.3.2. Наряду с синхронными в составе преобразовательных агрегатов прокатных цехов широко используются асинхронные двигатели с фазным ротором, обладающие также значительной мощностью. Асинхронные двигатели имеют кольца, изготовленные главным образом из цветных металлов. Последнее обстоятельство предопределило некоторое различие в ассортименте применяемых здесь марок щеток. Оценка их эксплуатационных свойств приведена в табл. 4.12.

4.3.3. К рассматриваемой группе машин относятся синхронные турбогенераторы, их контактные кольца изготовлены из стали. Эксплуатационные свойства используемых щеток приведены в табл. 3.12.

* *
*

Изложенная в табл. 4.1—4.12 информация о коммутирующих свойствах и параметрах износа щеток получена в результате систематических и длительных наблюдений за их эксплуатацией на электрооборудовании соответствующих отраслей народного хозяйства. Наблюдения и способы анализа выявленных при этом результатов осуществлялись в полном соответствии с методами, подробно описанными

Таблица 4.9. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в многофазных коллекторных двигателях, возбуждаемых с ротора [2.4]**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднее значение $\bar{v}$	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатель:								
компрессора	КВ-94	43—130	380	275—860	Г26	$1^1/_4$	2,0	—
печи обжига	КВ-53	55	500	280—1580	Г20	$1^1/_4$	0,7	0,17
					Г21	$1^1/_4$	1,1	0,27
					EG8101*	$1^1/_4$	4,9	0,86
экструдера	КВ-54	54	220	280—1590	Г22	1	0,7	0,17
					Г30	$1^1/_4$	1,4	0,12
шнека дефибратора	КВ-53	10—55	500	280—158	Г26	$1^1/_4$	0,7	0,17
					Г22	1	1,1	0,44
					EG8101*	$1^1/_4$	1,9	0,80
трубочной машины	RDN-226 *	34	500	730—2200	Г21	1	1,0	0,20
					2065*	$1^1/_4$	1,7	0,52
печатно-высекающего станка	А2506В *	3,7—30	380	200—1600	Г26	$1^1/_4$	0,18	0,06
					BG24*	$1^1/_4$	0,32	0,04
шнека	RDN-196 *	28	380	700—2100	Г21	1	0,5	0,15
					2065*	1	1,6	0,15
вакуум-фильтра	КВ-21	6,3—20	500	450—1420	Г26	$1^1/_4$	0,2	0,06
					BG24*	$1^1/_4$	0,3	0,07
					Г30	$1^1/_4$	0,4	0,05
					EG8101*	$1^1/_4$	1,4	0,10

Продолжение табл. 4.9

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
							Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Двигатель:								
барабана вакуум-фильтра	КВ-22	7,8—26	500	430—1420	Г26 Г22	$1^1/_4$ $1^1/_4$	0,7 0,6	0,11 0,06
барабана фильтра	КВ-20	5,2—18	380	400—1406	Г30	1	0,6	0,28
жестепечатного агрегата	DNR-14 *	20	380	800—2200	Г21	1	0,4	0,20
прядильной машины	RDNS-1262 *	10	380	600—1200	Г20 ЭГ74	$1^1/_4$ $1^1/_4$	1,1 2,5	0,5 0,45
резательного станка	MGC-334 *	9,6	500	266—2345	Г21 EG97*	1 1	1,1 1,4	0,67 0,57
днoклеильного станка	RDN-166 *	7,5	500	230—2300	G9* Г21	$1^1/_4$ $1^1/_4$	0,5 0,5	0,09 0,12
печатной машины	CLE-293 *	7,5	380	2250	Г21 Г20	$1^1/_4$ $1^1/_4$	1,3 3,4	0,20 1,60
дозатора	КВ-14	4,4	500	235—2350	EG14* Г21	$1^1/_4$ $1^1/_4$	0,4 0,4	0,10 0,09
шнека	КВ-15	1,1—4,8	500	325—1400	Г26 BG24*	1 1	0,1 0,4	0,09 0,16
станка резки	КВ-13	0,65—3,0	380	540—2100	Г30 КВ4*	$1^1/_4$ $1^1/_4$	0,7 1,6	0,15 0,03

* Изделия (электрические машины, щетки) зарубежного производства, поступившие в СССР по импортным закупкам.

Таблица 4.10. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в многофазных коллекторных машинах, возбуждаемых со статора [2.4]**

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
Преобразователь частоты	ХК-5N *	24—60	380	125—950	Г22	1	0,7	0,10
					ЭГ51	1	0,7	0,10
					ЭГ14	1	1,0	0,07
					BG28 + + BGУ7***	1 1/4	5,8	0,36
Двигатель:								
экструдера	ХК-52N6 *	8,1—58,8	380	200—1450	Г22	1	0,4	0,10
					Г20-С	1 1/4	0,4	0,17
					BG28*	1	1,2	0,09
шнека шприц-пресса	ХК-6N6 *	15—56	380	400—1500	Г22	1 1/2	2,0	0,05
каландра	КВ-920—6 *	10—54	380	300—1550	Г22	1	1,7	—
насоса	С22-5/4—6 *	40	380	300—1450	ЭГ74	1 1/4	2,4	0,1
Генератор регулируемой частоты:	АСТ-6336 *	25	380	1500	Г30 + + ЭГ2А**	1	0,6/0,5	0,10/0,10
Двигатель: печатной машины	К37-6 *	3,3—22	380	250—1650	ЭГ74	1 1/4	1,0	0,60

Продолжение табл. 4.10

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
дозирующего насоса	XF-32N *	1,5—14,8	380	212—2120	ЭГ51	1	0,9	0,13
					BG28*	1 1/4	8,6	0,28
	XF-22N *	3,7—11,8	380	120—2000	ЭГ51	1	1,0	0,05
намоточного вала	XF-4N *	3,7—11	380	1100—2750	ЭГ74	1	1,0	0,20
					ЭГ51	1	1,0	0,10
					BG28*	1 1/4	11,5	0,57
кримпера	BE-44N *	1,2—7,4	380	233—1400	ЭГ51	1	0,7	0,13
					Г22	1	0,7	0,12
					Г30	1	1,2	0,20
					BG28*	1 1/4	4,9	0,45
дозирующего насоса	PD-44N *	2,0—7,1	380	600—2100	ЭГ74	1	1,3	0,15
кабестана	PD-36N *	1,2—4,3	380	500—1750	ЭГ74	1	1,3	0,09
вытяжной машины	PH-4ZN *	2,1—3,4	380	250—1600	Г22	1	0,5	0,10
					ЭГ51	1	1,2	0,49
					Г26	1	2,2	0,60
					BG28*	1 1/4	5,8	0,25

Продолжение табл. 4.10

Сведения об электрических машинах					Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
						Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин			Среднее значение $\bar{v}$	Среднеквадратичное отклонение σ_v
резательной машины	KFZN *	1,2—3,7	380	500—1600	ЭГ51 BG28*	1 1 1/4	0,8 4,3	0,10 0,24
дозирующего насоса	BG-40N *	0,5—2,2	380	600—2100	ЭГ51 BG28*	1 1/4 1	1,1 8,4	0,13 0,43
преобразователя частоты	XK-50N *	1,1—1,8	380	125—950	ЭГ51 Г26 Г30 BG28 + +EG97B***	1 1 1 1 1/4	0,7 1,0 1,1 5,6	0,16 0,05 0,23 0,32

* Изделия (электрические машины, щетки) зарубежного производства, поступившие в СССР по импортным закупкам.
** Электрическая машина укомплектована щетками двух марок, установленными в сдвоенных щеткодержателях.
*** Электрическая машина укомплектована склеенными щетками, изготовленными из материалов двух марок.

Таблица 4.11. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых в синхронных двигателях**

Сведения об электрических машинах							Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	Материал контактных колец	Марка щеток	Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
								Среднее значение, $\overline{v}$	Среднеквадратичное отклонение, σ_v
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата обжимного стана	ДС32121-16	11 500	10,0	375	Сталь	Г6	1	0,7	0,2
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата рельсобалочного стана «840»	GM8500-500	7400	6,3	500	Сталь	ЭГ14	$1^1/_4$	4,9	—
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата тонколистового стана	СМ20	5520	6,3	375	Сталь	ЭГ14	$1^1/_4$	1,9	1,0
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата трехклетьевого стана холодного проката	WP-526-500	4000	6,3	500	Чугун	М1	$1^1/_4$	1,9	0,4
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата реверсивного стана холодного проката	WP-528-500	3250	6,3	500	Сталь	ЭГ14	$1^1/_4$	1,9	1,0

Продолжение табл. 4.11

Сведения об электрических машинах						Марка щеток	Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	Материал контактных колец		Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации	
								Среднее значение, $\overline{v}$	Среднеквадратичное отклонение, σ_v
Двигатель черновой клети тонколистового стана	СМ18-16-10	2200	6,3	600	Сталь	ЭГ14	$1^1/_4$	1,9	0,4
Двигатель среднесортного стана «530»	PRV706564	1500	6,3	750	Сталь	ЭГ4	$1^1/_4$	0,3	0,2
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата листопрокатного стана	ДС31710-6	1250	6,3	1000	Сталь	ЭГ4	$1^1/_4$	1,4	0,3
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата вспомогательных механизмов обжимного стана	МС322-12/6	1200	10,0	1000	Сталь	611ОМ	1	0,7	0,2
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата рельсобалочного стана	СМ1500-750	1060	6,3	750	Сталь	ЭГ14	$1^1/_4$	3,1	—

Таблица 4.12. **Эксплуатационные свойства щеток, используемых на асинхронных двигателях**

Сведения об электрических машинах							Эксплуатационные свойства щеток		
Назначение	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	Материал контактных колец	Марка щеток	Степень искрения	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднее значение, $\overline{v}$	Скорость изнашивания, мм за 1000 ч эксплуатации: Среднеквадратичное отклонение, σ_v
Двигатель преобразовательного маховичного агрегата									
Обжимного стана «1130»	ДАФ2016-16	6500	6,0	375	Сталь	М1 МГ64	1¼ 1¼	2,2 1,8	1,5 —
Обжимного стана «1170»	ABV	3680	10,0	375	Латунь	611М	1	0,7	0,3
Обжимного стана	R566-375	3680	6,0	375	Бронза	ЭГ14	1	3,5	—
Рельсобалочного стана	AT19A-10-12	2500	6,0	500	Латунь	ЭГ14	1	2,0	—
Крупносортного стана	AT2007-12	2200	10,0	500	Бронза	611М	1¼	0,9	0,3
Привод черновой клети тонколистового стана	АМ20Б-12-28	2200	6,3	500	Латунь	ЭГ14	1¼	1,8	0,9
Сортопрокатного стана	H5653	1250	3,0	1000	Бронза	611ОМ	1	0,6	0,2
Двигатель преобразовательного безмаховичного агрегата									
Обжимного стана «1150»	АМ20С-14-16	5890	6,3	372	Бронза	МГ2	1¼	1,1	0,4
Обжимного стана «1100»	R566-375	3680	6,0	372	»	ЭГ14	1	3,5	0,9

в соответствующих разделах настоящего справочника. Таким образом, содержащаяся в этих таблицах информация позволяет оценивать главнейшие из эксплуатационных свойств щеток, используемых на электрических машинах конкретных типов, работающих в характерных для них режимах. На основе изложенных оценок представляется возможным выбирать для рассмотренных электрических машин щетки, обладающие лучшими эксплуатационными свойствами, производить подбор щеток для машин, используемых в аналогичных условиях, рассчитывать расход щеток, определять их запасы, необходимые для обеспечения бесперерывной работы машины в заданном интервале времени, производить выбор щеток для их замены на электрических машинах зарубежного производства и решать другие вопросы, возникающие перед персоналом службы главного энергетика промышленных предприятий. Заметим также, что цифры табл. 4.1—4.12 оценивают работу щеток на конкретных машинах, эксплуатируемых в определенных условиях. На основе этих данных составлена приведенная ранее табл. 3.12, содержащая обобщенные оценки находящихся в ней значений $\bar{v}$ и σ_v. Материалом для такого обобщения послужили данные многолетних систематических наблюдений за эксплуатацией щеток на большом количестве электрических машин.

Приложение 1

Протокол испытания щеток________

1. Шифр отрасли__________
2. Предприятие __________
3. Цех __________
4. Тип машины __________
5. Номер машины __________
6. Номер машинной карты __________
7. Дата последней проточки коллектора __________
8. Вид обработки коллектора при установке щеток __________
9. Общее биение коллектора (кольца), мкм __________
10. Местные биения
    1. Есть. 2. Нет
    лишнее зачеркнуть
11. Марка щеток __________
12. Стандарт __________
13. Чертеж __________
14. Размеры, мм __________
15. Номер партии щеток__________
16. Год изготовления __________
17. Предприятие-изготовитель __________
18. Дата начала испытаний __________
19. Дата окончания испытаний __________
20. Наработка машины, ч__________
21. Вибрация щеток
    1. Есть. 2. Отсутствует
    лишнее зачеркнуть
22. Степень искрения по ГОСТ 183-74
    1, $1^1/_4$, $1^1/_2$, 2, 3
    лишнее зачеркнуть

23. Данные об износе щеток

Номер щетки	Радиальный размер, мм		Износ, мм	Скорость износа
	начальный	конечный		
1	2	3	4	5
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				

24. Оценка средней скорости износа щеток

25. Оценка стандартного отклонения скорости износа

26. Данные о внезапных отказах щеток:
Число щеток в комплекте, штук
Основной вид внезапных отказов: 1. Разрушение щетки.
2. Повреждение токопровода. 3. Поломка накладки щетки.
лишнее зачеркнуть

27. Сопротивление изоляции цепи якоря, МОм

Сопротивление изоляции	До продувки	После продувки
Перед началом испытаний		
В конце испытаний		

28. Состояние политуры (нужное подчеркнуть):

Тонкая	Светло-коричневая	Блестящая	Полосчатая
Средняя	Коричневая	Матовая	Пятнистая
Мощная	Темно-коричневая	Гладкая	Сплошная
Отсутствует	Цветов побежалости	Шероховатая	С прожилками

29. Состояние коллекторных пластин (нужное подчеркнуть):

Без видимого износа	Затягивание меди
Линии политуры	Подгар коллекторных пластин: отдельных, всех (лишнее зачеркнуть)
Риски	
Борозды	

30. Состояние щеток (нужное подчеркнуть):

30.1. Контактная поверхность щеток

Блестящая	С рисками
Матовая	С выбоинами
Эрозированная	С частицами меди

30.2. Края щеток

Без изменения
Со сколами
С подгарами

31. Общее заключение о работе щеток

Представители предприятия	Должность	Фамилия, И. О.	Подпись	Дата
Протокол составил				

Приложение 2

Значение функции $F_0(x)$ (ГОСТ 19460-74)

x	0	2	4	6	8
0,0	0,500	0,508	0,516	0,524	0,532
0,1	540	548	556	564	571
0,2	579	587	595	603	610
0,3	618	626	633	641	648
0,4	655	663	670	677	684
0,5	0,692	0,698	0,705	0,712	0,719
0,6	726	732	739	745	752
0,7	758	764	770	776	782
0,8	788	794	800	805	811
0,9	816	821	826	832	836
1,0	0,841	0,846	0,851	0,855	0,860
1,1	864	869	873	877	881
1,2	885	889	892	896	900
1,3	903	907	910	913	916
1,4	919	922	925	928	931
1,5	0,933	0,936	0,938	0,941	0,943
1,6	945	947	950	952	954
1,7	955	957	959	961	962
1,8	964	966	967	969	970
1,9	971	973	974	975	976
2,0	0,977	0,978	0,979	0,980	0,981
2,1	982	983	984	985	985
2,2	986	987	987	988	989
2,3	989	990	990	991	991
2,4	992	992	993	993	993

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

0.1. **Электрический** привод./Б. Б. Воропецкий, Д. А. Алещенков, Р. Д. Бай и др. В кн.: Электротехническая промышленность СССР/М.: Информстандартэлектро, 1967, с. 257—316.

0.2. **Волкомирский И. А., Кожевников В. А.** Электродвигатели постоянного тока серии 2П для регулируемого электропривода. М.: Информэлектро, 1975. 43 с.

0.3. **Отечественное** производство электроугольных изделий. М.: Информэлектро, 1978. 32 с.

0.4. **Внешняя** торговля СССР в 1981. Статистический сборник. М.: Статистика, 1982, с. 6, 18.

Раздел первый

1.1. **Фиалков А. С.** Углеграфитовые материалы. М.: Энергия, 1979. 365 с.

1.2. **Фиалков А. С.** Формирование структуры и свойств углеграфитовых материалов. М.: Металлургия, 1965. 289 с.

1.3. **Темкин И. В.** Производство электроугольных изделий. 3-е изд. М.: Высшая школа, 1980. 248 с.

1.4. **Лившиц П. С.** Щетки для электрических машин. М.: Госэнергоиздат, 1961. 215 с.

1.5. **Kohlenbürsten** für Industriemaschinen/Elektrokohle Lichtenberg. Berlin: 1970. 45 S.

1.6. **Szozotki** weglowe do maszyn elektrycznych./Electrocarbon. Tarnowskie gory: 54 S.

1.7. **Tarina E.** Uhlikove kefy pre elektromotory.— Bratislava: Vydavatelstvo technicky literatury, 1973. 203 S.

1.8. **Morganite** Brush grades and characteristics./Morganite — London, 1971. 11 p.

1.9. **Guide** technique pour balais de machines electriques. REFB 12(2)F/Le Carbone-Lorraine. Paris: 1974. 28 p.

1.10. **Technical** Bulletin. Carbon, graphite and metalgraphite industrial Brushes./Natioal Carbon Co. N. Y.: 24 p.

1.11. **Ringsdorff** carbon brushes./Ringsdorff Werke GMBH. Bohn: 31 S.

1.12. **Лившиц П. С., Лякс Д. И., Фирштенберг В. Н.** Скользящий контакт в электромашиностроении. (Щетки электрических машин отечественного и зарубежного производства). М.: Информэлектро, 1978, 78 с.

Раздел второй

2.1. **Лившиц П. С.** Скользящий контакт электрических машин. М.: Энергия, 1974. 272 с.

2.2. **Щетки** для коллекторных машин переменного трехфазного тока. Каталог 24.01.09-74. М.: Информэлектро. 1974. 34 с.

2.3. **Щетки** для электрических машин железнодорожного транспорта. Каталог 24.01.13-77. М.: Информэлектро, 1977. 49 с.

2.4. **Бодров И. И., Давидович Я. Г.** Щеточный контакт многофазных коллекторных машин. М.: Информэлектро, 1978. 54 с.

2.5. **Бодров И. И., Давидович Я. Г.** Скользящий контакт многофазных коллекторных машин. М.: Энергия, 1980. 97 с.

2.6. **Гурин Я. С., Кузнецов Б. И.** Проектирование серий электрических машин. М.: Энергия. 1978. 480 с.

2.7. **Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В.** Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1969. 566 с.

2.8. **Королюк В. С.** Справочник по теории вероятностей и математической статистике. Киев: Наукова думка, 1978. 584 с.

2.9. **Проников А. С.** Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.

2.10. **Котецкий Б. И.** Надежность и долговечность машин. Киев: Техника, 1975, 408 с.

2.11. **Карасев М. Ф.** Коммутация коллекторных машин постоянного тока. М.— Л.: Госэнергоиздат, 1961. 224 с.

2.12. **Лавринович Л. Л.** Настройка коммутации при помощи измерительных приборов.— Вестник электропромышленности, 1959, № 4, с. 16—22.

Раздел третий

3.1. **Лившиц П. С.** Эксплуатация электрощеток в металлургической промышленности. М.: Металлургия, 1966. 198 с.

3.2. **Бордаченков А. М., Гнездилов Б. В.** Коллекторно-щеточный узел электрических машин локомотивов. М.: Транспорт, 1974. 158 с.

3.3. **Аврух В. Н., Зайчиков В. Г., Шелепов В. А.** Устройство и эксплуатация щеточных узлов современных турбогенераторов и турбовозбудителей. М.: Энергия, 1974. 136 с.

3.4. **Жерве Г. К.** Промышленные испытания электрических машин. 3-е изд. Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1968. 575 с.

3.5. **Справочник** по наладке электроустановок/Под ред. А. С. Дорофеюка и А. И. Хечумяна. М.: Энергия, 1976. 560 с.

3.6. **Правила** устройства электроустановок ПУЭ-76, разд. I. Гл. 6—8 (Министерство энергетики и электрификации СССР). М.: Атомиздат, 1976. 56 с.

3.7. **Исакович М. М., Клейман Л. И., Перчанок В. Х.** Устранение вибраций электрических машин. М.: Энергия, 1979. 248 с.

3.8. **Коллекторы** электрических машин. Под ред. Б. Н. Красовского. М.: Энергия, 1979. 200 с.

3.9. **Основы** балансировочной техники. ч. 1, 2. Под ред. В. А. Щепетильникова. М.: Машиностроение, 1975, с. 527, 679.

3.10. **Виноградов Н. В.** Производство электрических машин. М.: Энергия, 1970. 288 с.

3.11. **Станиславский Л. Я., Гаврилов Л. Г., Остерник Э. С.** Вибрационная надежность мощных турбогенераторов. М.: Энергия, 1975. 240 с.

3.12. **Егоров Б. А.** Производство и ремонт коллекторов электрических машин. Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние. 1968. 188 с.

3.13. **Бодров И. И., Давидович Я. Г.** Итоги работ по подбору щеток многофазных коллекторных машин.— Электротехническая промышленность. Сер. электротехнические материалы, 1979, № 12 (113), с. 9—13.

3.14. **Le Carbone-Lorraine.** Aspects of commutator films. Technical note № 31. Paris: 4 p.

3.15. **Le Carbone-Lorraine.** Aspects des collecteurs des bagues. Paris: 1979. 18 p.

3.16. **Исаев В. С.** Упрочнение рабочей поверхности коллектора электрической машины.— Электротехника, 1971. № 8, с. 23.

Раздел четвертый

4.1. **ГОСТ 12919-79** Щетки марок ЭГ13, ЭГ13П, ЭГ51А, М1А, 96-0, МГС9А, МГС51, МГС20, МГСОА, МГСО1 для электрических машин. Технические условия.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел четвертый

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЩЕТОК

ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ ЛИВШИЦ

СПРАВОЧНИК ПО ЩЕТКАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Редактор *Н. И. Тихонова*
Редактор издательства *Т. Н. Платова*
Технический редактор *О. Н. Адаскина*
Корректор *З. Б. Драновская*

ИБ № 2332

Сдано в набор 21.12.82 Подписано в печать 30.03.83
Т-08314 Формат 84×108$^{1}/_{32}$ Бумага типографская № 1
Гарнитура литературная Печать высокая Усл. печ. л. 11,34
Усл. кр.-отт. 11,55 Уч.-изд. л. 15,07 Тираж 18 000 экз.
Заказ 463 Цена 95 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114,
Шлюзовая наб., 10

Набрано в московской типографии № 13 ПО «Периодика»
ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
107005, Москва, Б-5, Денисовский пер., дом. 30.
Отпечатано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первой Образцовой типографии имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, М-54, Валовая, 28